



**Faculté de technologie**  
**Département de GENIE CIVIL**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme  
de MASTER**



**FILIERE : Génie Civil**

**SPECIALITE : Matériaux**

Présenté par :

**BOUDIAF SABRINA**

**MAHFOUDI INTISSAR**

**Thème :**

---

**L'effet de l'utilisation des déchets de poudre de verre et de  
marbre dans la formulation du béton autoplaçant à l'état  
frais et durcis.**

---

**Soutenu devant le jury composé de :**

Mr. BELAGRAA Larbi

Professeur

Président

Mr CHIKOUCHE Mohamed Aziz

MCA

Examineur

Mme. DJEBRI Noura

MCA

Encadrant

Mr. RAHMOUNI Zine El Abidine

Professeur

Co-Encadrant

Promotion : 2023/2024.

# **REMERCIEMENT**

*Je remercie Allah, le Tout Puissant, le Miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je necessitais pour l'accomplissement de ce mémoire.*

*Remerciement avant également, notre encadreur de projet de fin d'étude Dr. DJEBRI NOURA et Co-Encadreur Pr. RAHMOUNI- Zine El Abidine, pour son encadrement, ses directives et sa disponibilité.*

*En dernier Je remercie également tous les enseignants du département de Génie civil de l'université Mohamed Boudiaf - M'sila, qui ont participé à ma formation pendant tout mon cycle universitaire.*

*Merci .*

## ***DECICACE***

Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience  
D'aller jusqu'au bout du rêve.

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents,  
A mes frères et sœurs, neveux et nièces,  
A tous ceux qui m'aiment et qui m'ont soutenue  
Tout au long de mon cursus.  
A tous ceux qui voulaient assister à la soutenance  
De ce modeste travail.

# Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
<b>Chapitre 01 : Généralités sur le béton auto plaçant</b>	
1.1 Introduction.....	3
1.2 Définition de béton auto plaçant .....	3
1.3 Domaine d'utilisation des BAP.....	4
1.4 Les principaux constituants des BAP .....	4
1.5 Matériaux de base.....	5
1.5.1 Les granulats.....	5
1.5.2 Le ciment .....	5
1.5.3 L'eau de gâchage .....	5
1.5.4 Adjuvants chimiques .....	6
1.5.5 Les superplastifiants.....	6
1.5.6 Les fillers .....	7
1.6 Formulation du béton auto plaçant.....	
1.7 Caractérisation d'un béton auto plaçant.....	7
1.7.1 Essais de caractérisation à Etat frais.....	7
1.7.1.1 Essai évaluant la fluidité (étalement) .....	7
1.7.1.2 Essai de la boîte en L .....	9
1.7.1.3 Essai de stabilité au tamis .....	10
1.8 Formulation des bétons auto plaçant.....	11
1.8.1 Formulation des BAP .....	11
1.8.2 Méthode Française .....	12
1.8.3 Méthode japonaise.....	12
1.8.4 L'approche suédoise .....	13
1.8.5 Formulation par volume de pâte minimal.....	13
1.8.6 Formulation par optimisation du squelette granulaire .....	14
1.8.7 Méthode basée sur un plan d'expérience.....	14
1.9 Conclusion.....	15
<b>Chapitre 02 : Valorisation des déchets</b>	
2.1 Introduction .....	16
2.2 Définition économique d'un déchet.....	16
2.2.1 Définition sociologique de "déchet" .....	17

2.2.2	Définition juridique de "déchet" .....	17
2.3	Les différents types de déchets .....	17
2.3.1	Déchets ultimes .....	17
2.3.2	Déchets inertes .....	18
2.3.3	Déchets dangereux.....	18
2.3.4	Déchets non dangereux des activités économiques .....	19
2.3.5	Les déchets industriels banals (DIB).....	19
2.3.6	Les déchets médicaux et pharmaceutiques.....	20
2.4	Gestion des déchets.....	20
2.5	Principes de gestion des déchets .....	20
2.6	Méthodes de gestion des déchets .....	21
2.6.1	L'enfouissement.....	21
2.6.2	L'incinération .....	21
2.6.3	La décharge contrôlée .....	21
2.6.4	Le compostage.....	22
2.7	Déchets utilisés comme granulats du béton.....	23
2.7.1	Laitier d'acier .....	23
2.7.2	Cendres volantes.....	23
2.7.3	Déchets de verre.....	23
2.7.4	Déchets de marbre.....	24
2.7.5	Déchets de démolition.....	25
2.7.6	Déchets de production de l'industrie du béton.....	25
2.7.7	Déchets plastiques.....	26
2.7.8	Ciment durci .....	26
2.7.9	Déchets de briques .....	26
2.8	Le recyclage.....	27
2.9	recyclage du verre.....	27
2.10	Le verre récupéré .....	28
2.11	la valorisation.....	28
2.11.1	Définition de la valorisation.....	28
2.11.2	La valorisation de la matière .....	29
2.12	Conclusion.....	29
 <b>Chapitre 03 : Caractéristiques des matériaux utilisés</b>		
3.1	Introduction .....	30
3.2	Caractérisations des matériaux.....	30

3.3	Sable.....	30
3.3.1	Analyse granulométrique.....	30
3.3.2	Equivalent de sable NF EN 993-8.....	32
3.3.3	Equivalent de sable piston (E.s.p).....	32
3.4	La masse volumique absolue .....	32
3.4.1	Mode opératoire.....	33
3.5	Gravier .....	34
3.6	VERRE.....	37
3.7	Adjuvant(MEDAFLOW).....	38
3.8	Le ciment. ....	38
3.8.1	caractéristiques de ciment CEM II/B 42.5.....	38
3.8.1.1	caractéristiques physiques du ciment utilities EN191-1(2002).....	38
3.8.1.2	caractéristiques chimiques et minéralogiques du ciment utilities...39	
3.9	Le filler (marbre).....	39
3.10	Conclusion.....	40

#### **Chapitre 04 : Techniques Expérimentales desBAP**

4.1	INTRODUCTION.....	41
4.2	Calcul des constituants d'un BAP par la méthode AFGC .....	41
4.3	Procédure de fabrication des éprouvettes: .....	41
4.4	Équipements utilisés.....	43
4.5	Essais de caractérisation du béton auto plaçant à l'état frais.....	44
4.5.1	Essai d'étalement au cône d'Abrams (NF EN 12 350-8].....	44
	➤ Matériel utilisé	
	➤ Mode opératoire	
4.5.2	Essai de la boîte en « L » .....	45
4.5.3	Stabilité au tamis .....	46
4.5.4	La masse volumique .....	47
4.6	Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l'état durci....	47
4.6.1	Essai compression (NF EN 206-1] .....	47
4.6.2	Essais de traction par flexion.....	48

<b>4.7</b>	<b>Confection des éprouvettes .....</b>	<b>50</b>
<b>4.7.1</b>	<b>Type et tailles des moules .....</b>	<b>50</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Conservation des éprouvettes .....</b>	<b>50</b>
<b>4.8</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>50</b>

## **Chapitre 05 : Résultats et Analyses**

<b>5.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>51</b>
<b>5.2</b>	<b>Les formulations des bétons étudiés : .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3</b>	<b>Présentation des résultats : .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Résultats des essais à l'état frais :.....</b>	<b>51</b>
<b>5.3.2</b>	<b>LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES BAP A L'ETAT DURCIS....</b>	<b>54</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Résistance à la compression .....</b>	<b>54</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Résistance à la traction.....</b>	<b>56</b>
<b>6.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>59</b>

<b>CONCLUSION GENERAL .....</b>	<b>60</b>
---------------------------------	-----------

<b>Références bibliographique.....</b>	<b>61</b>
--	-----------

## Résumé

L'utilisation des Bétons autoplaçant (BAP) s'est considérablement développée au cours des dernières années et une attention grandissante est portée à l'étude de leurs propriétés mécaniques et rhéologiques. Les déchets industriels dégagent actuellement constituant une source potentielle de problèmes environnementaux et économique

L'incorporation des déchets dans la composition du béton autoplaçant (BAP) est un intérêt qui mérite d'être étudié.

L'objectif de ce travail, c'est la valorisation des déchets de verre et de marbre en les utilisant comme fillers dans le béton autoplaçant. Pour réduire l'impact environnemental et améliorer le comportement mécanique du béton à la flexion, et à la compression.

**Mots clé :** Béton autoplaçant, déchets, poudre de verre, poudre de marbre, état frais, état durci.

## الملخص :

لقد تطور استخدام الخرسانة ذاتية الدمك (SCC) بشكل كبير في السنوات الأخيرة، ويتم اهتمام متزايد لدراسة خصائصها الميكانيكية والانسحابية. يتم حالياً إطلاق النفايات الصناعية، مما يشكل مصدرًا محتملاً للمشاكل البيئية والاقتصادية. إن دمج النفايات في تركيبة الخرسانة ذاتية الدمك (SCC) هو اهتمام يستحق الدراسة.

الهدف من هذا العمل هو استعادة مخلفات الزجاج والرخام باستخدامها كمواضع مضافة في الخرسانة ذاتية الدمك. لتقليل التأثير البيئي وتحسين السلوك الميكانيكي للخرسانة في الانحناء والضغط.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الدمك، النفايات، مسحوق الزجاج، مسحوق الرخام، الحالة الطازجة، الحالة المتصلبة.

## Abstract

The use of self-compacting concrete (SCC) has grown considerably in recent years and growing attention is being paid to the study of their mechanical and rheological properties. Industrial waste is currently being released, constituting a potential source of environmental and economic problems. The incorporation of waste into the composition of self-compacting concrete (SCC) is an interest that deserves to be studied. The objective of this work is the recovery of glass and marble waste by using them as fillers in self-compacting concrete. To reduce the environmental impact and improve the mechanical behavior of concrete in bending and compression.

**Key words:** Self-compacting concrete, waste, glass powder, marble powder, fresh state, hardened state.

# **INTRODUCTION GENERALE**

## **INTRODUCTION GENERALE :**

Le béton auto plaçant (BAP) est un type de béton innovant qui se distingue par sa capacité à se mettre en place et à se consolider sous l'effet de la gravité, sans nécessiter de vibration mécanique. Ce matériau a été développé dans le but d'améliorer la qualité, la durabilité et la facilité de mise en œuvre du béton. Il est particulièrement apprécié dans les applications où l'accessibilité est réduite ou où des formes complexes doivent être remplies sans laisser de vides.

Le BAP se caractérise par plusieurs propriétés techniques essentielles, telles qu'une fluidité élevée, une stabilité suffisante pour éviter la ségrégation des composants, et une résistance adaptée aux exigences structurelles. Ces propriétés sont obtenues grâce à l'ajout d'adjuvants spécifiques, comme des super plastifiants et des agents de viscosité, ainsi qu'à une formulation précise des proportions de ciment, d'eau, de granulats et de fines.

Les avantages du béton autoplaçant incluent une réduction du bruit de chantier (en raison de l'absence de vibration), une diminution du temps de mise en œuvre et une meilleure qualité de surface. De plus, son utilisation peut contribuer à réduire la main-d'œuvre nécessaire et à améliorer la sécurité sur les chantiers. Cependant, le coût des matières premières et des adjuvants spécifiques, ainsi que la nécessité d'un contrôle rigoureux de la formulation, peuvent représenter des défis pour sa mise en œuvre.

L'introduction du BAP a transformé de nombreuses pratiques dans l'industrie de la construction, permettant de réaliser des ouvrages plus complexes et de meilleure qualité, tout en répondant aux exigences de durabilité et d'efficacité des projets modernes.

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets (industriels ou ménagers) de produits arrivés en fin de vie, qui permet de réintroduire certains de leurs matériaux dans la production de nouveaux produits. Les matériaux recyclables comprennent certains métaux, plastiques et cartons, le verre, les gravats, etc

Le recyclage du verre et son utilisation comme additif principal dans le béton autoplaçant représentent une évolution importante dans le secteur de la construction durable. L'utilisation de verre recyclé dans ce béton apporte de nombreux avantages, notamment l'amélioration des propriétés du béton en termes de durabilité et de dureté, et la réduction de l'impact environnemental résultant de l'élimination des déchets de verre. De plus, l'introduction du verre recyclé réduit la consommation de matériaux naturels, ce qui améliore

la durabilité des ressources et réduit les coûts de production. Cette utilisation innovante du verre recyclé reflète la tendance vers une économie circulaire dans le secteur de la construction et contribue à l'atteinte des Objectifs de développement durable.

L'objectif de cette étude est de mettre en avant les avantages de l'utilisation de déchets ménagers tels que les bouteilles en verre dans le béton autoplaçant. Nous avons proposé l'utilisation de poudre de verre obtenue par broyage de bouteilles de moins de 80 micromètres, et avons étudié son impact sur les propriétés du béton autoplaçant. Différents pourcentages de poudre de verre ont été testés dans les mélanges (0%,5% et10 %) de masse de ciment.

Cette étude vise à conserver les ressources naturelles, à protéger l'environnement et à améliorer la consommation d'énergie. Par conséquent, il semble approprié d'étudier la possibilité de recycler certains déchets produits par les activités industrielles et autres de l'industrie du béton. Pour atteindre cet objectif, de nombreuses recherches ont été entreprises pour étudier la possibilité de convertir les déchets en composants dans l'installation de béton autoplaçant.

Cette mémoire est divisée en cinq chapitres comme suit :

**Le premier chapitre :** Généralités sur le béton autoplaçant

**Le deuxième chapitre :** Valorisation des déchets

**Le troisième chapitre :** Caractéristiques des matériaux utilisées

**Le quatrième chapitre :** Techniques Expérimentales

**Le cinquième chapitre :** Résultats et Analyses.

**Enfin,** En conclusion, notre étude pratique a permis de mettre au point des formulations de BAP efficaces, en étudiant l'action des super plastifiants et l'impact des ajouts sur les propriétés du béton.

## 1.1 Introduction :

Cette partie présente un aperçu détaillé sur le béton auto plaçant en tant que nouveau matériau. Il expose d'abord l'historique de leur développement ainsi que leur définition, ce chapitre fait une synthèse sur la description des constituants entrant dans la fabrication des BAP et les caractéristiques à l'état frais et durci, finalement, il met en relief les innovations et les avantages apportés par les BAP.

Le béton (BAP) est un matériau qui se trouve au centre d'un enjeu important pour limiter la pénibilité de travail des ouvriers.

En effet, cette forme de béton est très fluide et, comme son nom l'indique, se place tout seul dans un coffrage grâce au seul effet de son propre poids. Il contient deux constituants de plus qu'un béton « ordinaire » ce qui complique les dosages d'une formule.

Ces 6 ou 7 composants sont le ciment, l'eau, le sable, les gravillons, un additif (filler marbre ou ciment correcteur), un super plastifiant et/ou un agent de viscosité.

La dimension maximale du gravier ne doit pas dépasser 16 mm pour pouvoir pénétrer entre les mailles de ferrailage sans difficulté.

## 1.2 Définition de béton auto plaçant :

Ces bétons sont des bétons spéciaux, très fluides, qui se mettent en place et se serrent sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, même dans des coffrages très ferrailés.

Ces bétons ne sont évidemment qualifiés d'auto-plaçant que si le matériau durci final présente des propriétés homogènes (pas de ségrégation) et présente de très bonne performance à court et à long terme. [5]

Les propriétés caractéristiques de BAP sont :

- fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation.
- Des aérations du béton pendant son écoulement.
- Excellente aptitude au béton homogène en présence de réservations d'incorpores et de ferrailages denses. [5]

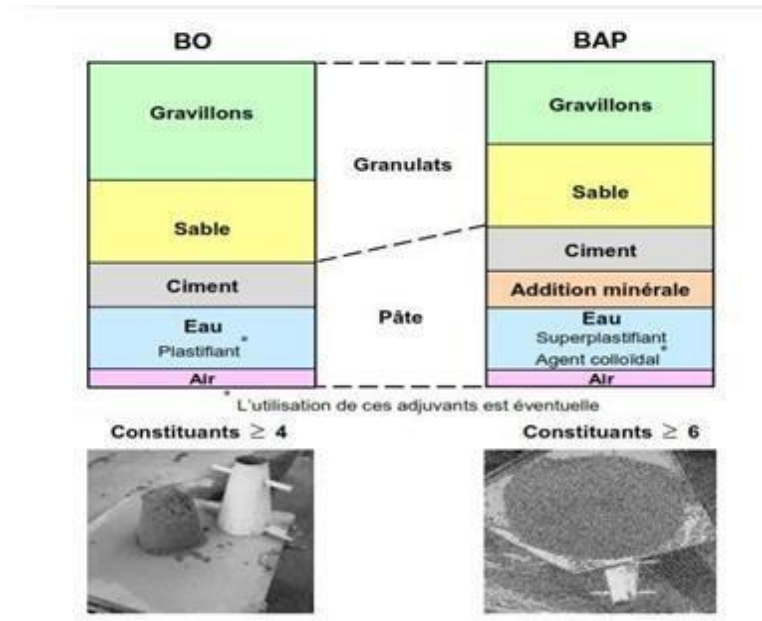


Figure 1. : Comparaison de la structure d'un BAP et d'un BO [9]

### 1.3 Domaine d'utilisation des BAP :

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton [6]. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.).

Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation des structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des :

- Densités de ferrailage importantes.
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes.
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts.
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

### 1.4 Les principaux constituants des BAP :

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Ils peuvent différer par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des BAP, les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques.

## **1.5 Matériaux de base :**

Les granulats, le ciment et l'eau forment les éléments de base de tous types de béton.

Ils sont qualifiés ainsi puis qu'ils sont historiquement les seuls constituants des bétons de nos ancêtres et parce qu'ils ont toujours les plus grosses proportions relatives dans le mélange de BAP.

### **1.5.1 Les granulats :**

Les granulats roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. Les granulats roulés en vrac présentent un plus petit volume de vide inter granulaire, ce qui nécessite une plus faible quantité de pâte de ciment pour le remplir. La flottabilité des granulats concassés dans la pâte de ciment est cependant meilleure, en raison de leur plus grande surface spécifique masse identique. Afin d'empêcher tout risque de blocage du BAP par les barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm. L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre maximal différent. Le mélange pour béton (granularité) est caractérisé par une teneur. Levée en sable et en éléments fins. Le passant au tamis de 2 mm devrait être idéalement compris entre 38 et 42%. De même, la proportion de farines (0,125mm) ne devrait pas être trop faible, l'optimum situ entre 4 et 8%. Le choix d'une granularité continue appropriée est très important, étant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment. Afin d'assurer une bonne stabilité du BAP (éviter toute ségrégation), il est recommandé de choisir un sable spécialement optimisé, au besoin recomposé à partir de plusieurs fractions.

### **1.5.2 Le ciment :**

En principe, tous les types normalisés de ciment conviennent pour la fabrication de BAP. Cependant, l'utilisation du ciment portland (contenant seulement le clinker) nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales.

### **1.5.3 L'eau de gâchage :**

Toute eau du réseau public d'eau potable convient pour la fabrication de béton Autoplaçant. Les eaux recyclées de gâchage et de lavage ne conviennent que sous certaines conditions restrictives en raison d'éventuels effets indésirables sur les propriétés du béton.

Etant donné que le dosage en eau influence de manière considérable la viscosité et la compacité d'autoplaçant du béton, il est indispensable de s'écarter le moins possible de la valeur planifiée. Il est ainsi très important de mesurer et de prendre en compte l'humidité des granulats et tout spécialement du sable. Cas échéant, on tiendra également compte de la teneur en eau des adjuvants.

### **1.5.4 Adjuvants chimiques :**

Afin d'obtenir une très grande fluidité requise d'un béton auto plaçant utilise généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, base de poly carboxylates.

Ces adjuvants permettent de réduire de manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité. L'efficacité d'un adjuvant peut être plus ou moins prononcée selon le ciment et les additions utilisés (compatibilité). De plus, un dosage élevé en adjuvant retarde généralement le début de prise. L'utilisation d'un adjuvant stabilisateur permet de réduire le risque de ségrégation du BAP (ressuage, granulats grossiers coulant vers le bas), qui devient ainsi plus stable et moins sensible aux variations du rapport E/C  $\epsilon$  q. Dans chaque cas, il convient donc de sélectionner les adjuvants les mieux appropriés à un ciment donné au moyen d'essais préliminaires sinon, il faut s'attendre à devoir recourir à des dosages. Levés en adjuvants, voire à l'apparition d'un raidissement prononcé avec perte des performances recherchées du BAP.

### **1.5.5 Les superplastifiants :**

Ce sont des réducteurs d'eau à haute efficacité, et se présentent généralement sous forme de liquide. Ils sont composés de longues molécules organiques de masse élevée.

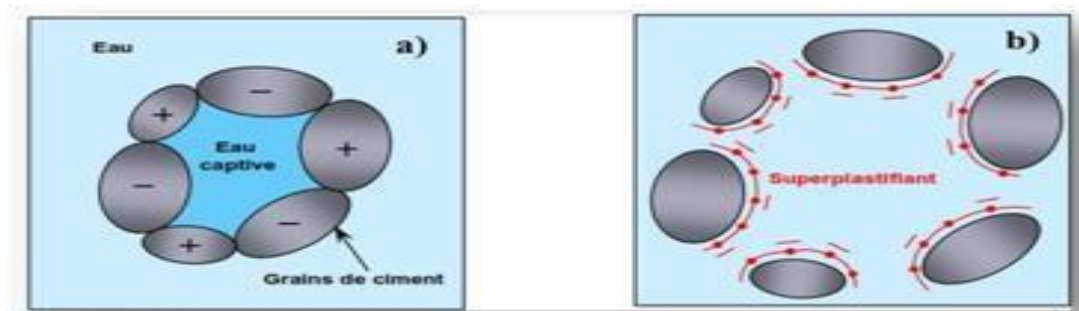
Les plus couramment utilisés sont les sels de sodium ou de calcium du poly naphthalène sulfoné, et les sels de sodium de la poly mélamine sulfonée. Les copolymères acrylate-ester ou polyacrylates ont récemment été introduits sur le marché.

Le mode d'action des super plastifiants est extrêmement complexe. Il peut être expliqué comme suit:

Lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aussi polaire que l'eau, les grains de ciment, qui présentent un grand nombre de charges opposées (positives et négatives) sur leur surface, tendent à s'agglomérer sous forme d'amas (floculation). Par conséquent, cette floculation

piège un certain volume d'eau entre les grains de ciment (eau captive) qui n'est plus disponible pour assurer une bonne maniabilité au béton.

Les super plastifiants en s'adsorbant à la surface des grains de ciment brisent cette dynamique. Ils neutralisent les différentes charges et donnent la même charge électrostatique à chaque grain de ciment. Ces charges de même signe vont créer des forces répulsives entre les particules et, par conséquent, la dispersion des grains de ciment libère de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité.



**Figure 2 :** (a) Pâte de ciment non adjuvante, (b) Pâte de ciment additionnée d'un Superplastifiant [17]

### 1.5.6 Les fillers :

Matière minérale, finement divisée destinée à remplir les vides laissés par un empilement granulaire de graviers, gravillons et sables.

Le terme filler se rapporte à la petite taille des grains qui le constitue. La nature chimico-minéralogique du filler peut varier, il s'agit généralement de calcaire broyé mais les cendres volantes, la fumée de silice, ou une combinaison de ces matériaux peut être utilisée comme filler.

## 1.6 Caractérisation d'un béton auto plaçant :

### 1.6.1 Essais de caractérisation à Etat frais :

#### 1.6.1.1 Essai évaluant la fluidité (étalement) :

Les bétons auto plaçant formulés doivent satisfaire plusieurs tests normalisés [8-10] qui permettent de caractériser leurs principales propriétés. Les valeurs préconisées par la norme EN 206 – 9 [11]

- La mobilité du béton auto plaçant en milieu non confiné, est un essai réalisé pour la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (Slump flow, SF). Cet essai est

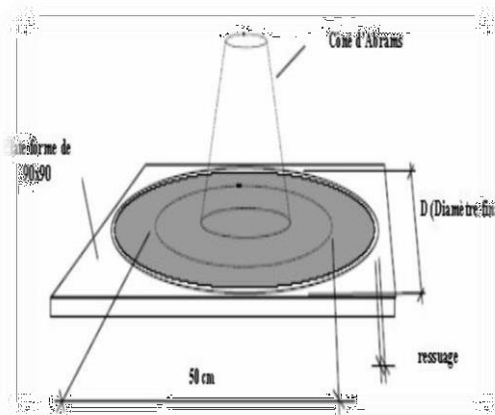
complété par la mesure du temps d'étalement pour un diamètre défini de 500 mm (T500) selon la norme EN 12350 – 8 [8].

- La résistance à la ségrégation du béton auto plaçant est exprimée par l'essai de stabilité au tamis selon la norme EN 12350 – 11 [9].
- La mobilité du béton auto plaçant en milieu confiné, est réalisé par l'essai du taux de remplissage dans la boîte en L (PL), selon la norme EN 12350 – 10 [10].
- Deux autres essais non normalisés, comme paramètres rhéologiques ont été choisis: la viscosité ( $\mu$ ) selon le modèle de Sedran [12] et le seuil de cisaillement ( $\tau$ ) selon la méthode de la boîte LCPC [13] décrites successivement en annexes 2et 3. Chaque essai est reproduit trois fois sur trois gâchées différentes de mêmes compositions

Pour la détermination de l'étalement (SLUMP FLOW) on utilise le même cône que celui normalement utilisé pour l'essai d'affaissement. Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante ( $\geq 800$  par  $800$  mm), puis il est rempli de BA. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre énergie, sans qu'il soit nécessaire de soulever et de laisser retomber la plaque, comme dans l'essai classique d'étalement. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue qui devrait être comprise entre 600 et 800 mm [HOLCIM].

Pour l'AFGC les valeurs ciblées d'étalement sont généralement fixées dans la fourchette 60 à 75 cm. Il est possible aussi de mesurer le temps d'écoulement du béton pour atteindre un étalement de 50 cm (noté T50) ce qui donne un indice sur la viscosité d'un mélange de béton.

Les figures suivantes représentent d'une façon claire l'essai de l'étalement.



**Figure 3:** Essai d'étalement au cône d'Abram (slump flow).



**Figure 4 :** Essai d'étalement au cône d'Abram's selon la norme SN EN 12350-8.

### 1.6.1.2 Essai de boîte en L :

La boîte en L permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

Le mode opératoire est exprimé d'après l' [AFGC] comme suit :

La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39mm.

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage  $H2/H1$ .

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation.

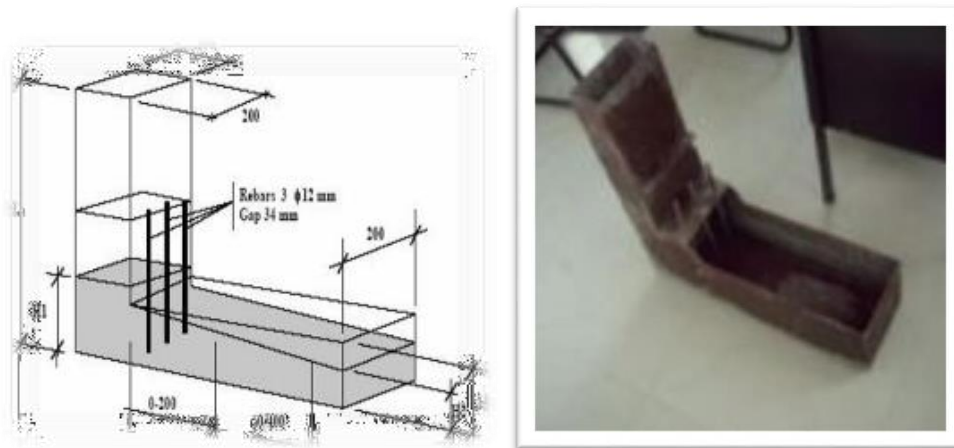


Figure 5 : - Représentation schématique de l'essai à la boîte en L

### 1.6.1.3 Essai de stabilité au tamis :

Cet essai vise à qualifier les bétons auto plaçant vis-à-vis du risque de ségrégation.

Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton auto nivelant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier. Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité [AFGC].

Cet essai consiste à l'utilisation d'un seau de 10 L avec un couvercle, un tamis de 5 mm de diamètre de 315 mm plus fond et une bascule de portée minimale de 20 kg et de précision de 20 g.

Le mode opératoire d'après les recommandations de l' [AFGC] est le suivant : A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans le seau. Après quinze minutes, un échantillon de 5 kg est versé du seau sur le tamis, deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon donne l'indice de ségrégation la mesure de cet indice conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante:

- $0 \leq \Pi \leq 15$  % STABILITE SATISFAISANTE.
- $15 \% < \Pi \leq 30$  % STABILITE CRITIQUE, L'ESSAI A REFAIRE IN SITU.
- $\Pi > 30$  % STABILITE TRES MAUVAISE, BETON INUTILISABLE.

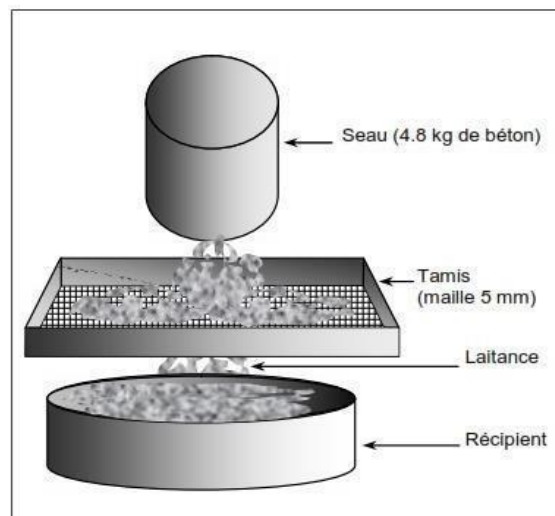


Figure 6 : Représentation de l'essai de stabilité au tamis [18]

## 1.7 Formulation des bétons autoplaçant :

### 1.7.1 Formulation des BAP :

La mise au point d'une formule de BAP est beaucoup plus complexe, parce que, d'abord, les constituants sont au nombre minimal de six, contre quatre dans le cas des BO. Ensuite, le cahier des charges d'un BAP comporte plus de clauses, en particulier à l'état frais ; il faut assurer, en plus de l'étalement, la capacité de remplissage et la stabilité. Enfin, et surtout, les propriétés des BAP sont contradictoires ; un béton riche d'une pâte fluide est très sensible à la ségrégation [9].

Depuis l'invention du BAP, aucune méthodologie pratique de formulation n'a été établie.

Les différentes propriétés recherchées rendent la formulation du BAP relativement compliquée.

De multiples approches se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un BAP.

Plusieurs méthodes de formulation de BAP ont été développées dans le monde (méthodes japonaise, suédoise, loi LCPC, etc.) répondent aux exigences La maniabilité de ce type de béton [1]

Nous rapportons un exposé général sur les approches principales [8].

### **1.7.2 Méthode Française :**

Méthode française (LCPC) :

Proposée par [2]:

Au LCPC, un modèle mathématique basé sur les interactions entre particules Les différents composants du mélange pour prédire la compacité du mélange granulaire Les composants suivants sont précis à moins de 1 % :

- Les distributions granulaires.
- Les proportions du mélange.
- La compacité propre.
- La densité apparente.

La proportion de liant est prédéterminée (par exemple 90% ciment, 10% ajouté) Déminer la quantité de super plastifiant à saturation. D'après l'expérience du LCPC, cette détermination des quantités pour donner une viscosité élevée au béton, la moitié de cette quantité sera plus en relation.

La viscosité est arbitrairement fixée à  $5 \cdot 10^4$  réduction de la teneur en eau le résultat et le rapport liant charge restent les mêmes, le rapport d'étape agrégat liant est optimisée.

La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance cible, tandis que la quantité de super plastifiant est ajustée pour obtenir les seuils d'étalement et de cisaillement souhaités, Ainsi, les propriétés souhaitées du béton auto plaçant sont atteintes [2]:

### **1.7.3 Méthode japonaise :**

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi (1990), se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique.

Les principes de formulation et leur application sont les suivants :

- a). Dosage des gravillons :** Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m<sup>3</sup> de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.
- b). Dosage du sable :** Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.
- c). Dosage du liant :** La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>). Les rapports massiques eau sur ciment (E/C) et filler sur ciment (F/C) peuvent également être choisis sur des critères de résistance.
- d). Dosage de l'eau et du super plastifiant :** Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir. [8].

#### 1.7.4 L'approche suédoise :

Cette méthode est basée sur la méthode japonaise citée ci-dessus, le principe est d'intégrer l'approche de l'évaluation du risque de blocage dans le processus de formulation. Pour chaque rapport G/S on estime le volume de pâte critique pour le blocage, on retiendra ensuite le rapport

G/S qui vérifie les propriétés rhéologiques recherchées. Les dosages des fines, de l'eau et du super plastifiant sont ajustés pour avoir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement, et une résistance souhaitée. Cette approche permet une meilleure optimisation du squelette granulaire. Cependant, on ne peut pas appliquer le critère de blocage à n'importe quel type de granulats [8].

#### 1.7.5 Formulation par volume de pâte minimal :

Dans cette méthode le béton est considéré comme un matériau biphasique, une phase solide constitué par les granulats et une phase liquide qui est la pâte (eau, liant, adjuvants).

Les chercheurs supposent que la pâte joue deux rôles principaux dans un BAP : D'une part, elle assure la fluidité du mélange, ce qui limite les frottements entre les granulats, d'autre part elle écarte les gravillons pour éviter le phénomène de blocage. Pour assurer ces deux rôles les chercheurs jugent qu'il doit exister un volume minimum de pâte [28].

### **1.7.6 Formulation par optimisation du squelette granulaire :**

Sachant que la résistance à la compression augmente avec la compacité de la pâte et que l'ouvrabilité est tributaire de l'arrangement du squelette granulaire. La formulation des bétons est basée sur l'optimisation de la porosité du système, en prenant en considération tous les grains solides, du ciment aux gravillons. Si la phase interstitielle est l'eau de gâchage, et non plus la pâte. Plus la quantité d'eau qui écarte les grains est importante, plus la suspension est fluide. A quantité d'eau constante, si on minimise la porosité de l'empilement de grains, on optimise en conséquence le volume d'eau disponible pour fluidifier le mélange. Cet exemple simple montre donc le lien entre compacité et rhéologie [28].

### **1.7.7 Méthode basée sur un plan d'expérience :**

Le principe de cette méthode est l'utilisation d'un plan d'expérience pour connaître l'effet des paramètres de composition du béton. Khayat et al ont réalisé une telle étude avec les facteurs suivants :

Le volume de gravillons, la masse de fines (C+A), le rapport massique eau sur fines  $E/(C+A)$ , la masse de super plastifiant et la masse d'agent de viscosité. Chaque facteur est varié sur une plage comportant cinq points, ce qui élève le nombre de compositions effectuées à 25. Au final, les modèles obtenus sont fournis avec les résultats des essais, notamment l'étalement et le taux de remplissage, en fonction des différents facteurs. Même si ces modèles ne sont exploitables que pour les constituants utilisés dans l'étude, cette approche fournit surtout un support pour corriger une formule ne répondant pas, par exemple, aux critères de l'AFGC.

## **1.8 Conclusion :**

Cette synthèse bibliographique a été menée afin de se familiariser avec les bétons Auto plaçant, et l'objectif étant de les définir, ainsi que citer leurs multiples propriétés, les caractériser, et résumer les principales méthodes de leur formulation.

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage).

Les propriétés caractéristiques de ce béton à l'état frais sont :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation,
- Capacité de passage dans les milieux confinés,
- Excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de ferrailage dense. Le fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé.

Un béton est qualifié d'autoplaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés. Ainsi, un grand nombre de tests empiriques standards sont développés pour caractériser le BAP vis-à-vis des propriétés d'ouvrabilité, et ses performances mécaniques.

# **Chapitre 02 :**

## **Valorisation des déchets**

## 2.1 Introduction :

La valorisation des déchets est une attitude positive plus économe, plus responsable qui œuvre dans le but de la protection de l'environnement et la santé de l'Homme. De nos jours les déchets constituent un produit qu'il faut exploiter au mieux afin d'entier meilleur profit. La valorisation est non seulement utile, mais aussi souhaitable. Toute l'activité humaine consiste à créer des richesses en partant d'un produit pour en fabriquer un autre, en transformant les choses pour en créer de nouvelles. Le déchet peut être ce produit qu'il faut savoir utiliser et transformer pour en faire un matériau utile, une véritable matière première ou secondaire (Ademe, 1996) [2].

## Qu'appelle-t-on déchets ?

Étymologiquement le mot « déchet » qui apparaît au XIV<sup>ème</sup> siècle dans les entrées des dictionnaires vient du verbe « déchier », forme régulière du participe passé du verbe « déchoir » qui traduit la diminution de valeur d'une matière ou d'un objet jusqu'au point où il devient inutilisable en un lieu et en un temps donné (Pichat, 1995).

Ainsi, le déchet porte l'idée de déchéance, de chute. Cette dévaluation est liée à des paramètres comme la saleté, la souillure ou la puanteur : c'est l'ordure, de la racine latine ord, « d'une saleté repoussante, immonde » (Rey, 1992a) ; c'est aussi l'immondice, du latin immundus, « matière sale, impure » (Rey, 1992b). Selon le dictionnaire Larousse de la langue française (2000), « le déchet est ce qui tombe d'une matière qu'on travaille, un débris, un reste d'une chose découpée, apprêtée qui est impropre à la consommation, à l'usage ». Il est « ce qui est perdu » (Larousse, 1924). Il est aussi « La partie inutilisable d'une matière, morceau qu'on rejette ou qui s'en détache » (Larousse de la langue française, 1992). En résumé le déchet est ce que l'on considère comme un rebut. Dans cette conception, le déchet n'est pas un élément réutilisable.

## 2.2 Définition économique d'un déchet :

Selon le sens économique du terme, un déchet est défini comme un objet ou une matière dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur, à un moment et dans un lieu donné (Sané, 2002) ;( Kofoworola, 2007). Pour s'en débarrasser, le propriétaire devra payer un prestataire pour son enlèvement ou s'en charger lui-même. Cette définition de

la nullité de valeur est relative car les déchets des uns sont les matières premières des autres voire même des biens pour d'autres personnes ou communautés [2].

### **2.2.1 Définition sociologique de "déchet" :**

Socialement, les déchets s'accompagnent de jugements de valeur négatifs. Ils sont disqualifiés, comportent une connotation malsaine, suscitent souvent de la répulsion voire du dégoût et nécessitent une séparation, une ségrégation, une exclusion, un rejet. (Lhuillieret Cochin, 1999).

### **2.2.2 Définition juridique de "déchet" :**

Sur le plan juridique, la question est surtout de savoir comment une chose est requalifiée comme déchet : la réponse ne concerne pas tant des caractéristiques techniques ou formelles d'une chose mais est liée à l'action de se défaire. Au niveau européen, un déchet correspond à toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou l'obligation de se défaire en vertu des dispositions nationales en vigueur. (Directive 1975/442/CEE)

## **2.3 Les différents types de déchets :**

### **2.3.1 Déchets ultimes :**

La loi du 13 juillet 1992 a introduit la notion de déchets ultimes et en donne la définition suivante : « un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. » A terme, seuls les déchets qui n'ont pu être ni recyclés, ni incinérés avec récupération d'énergie, pourront être mis en décharges.

Les déchets ultimes issus des usines d'incinération d'ordures ménagères et déchets assimilés, dénommés mâchefers, peuvent être transformés après traitement en granulats et utilisés pour réaliser les fondations de route [2].

Déchets ménagers et assimilés : Ce terme regroupe l'ensemble des déchets produits dans le cadre de notre vie quotidienne : emballages, restes de repas, électroménagers, vieux meubles, déchets verts, vieux vêtements, etc. [3].

### 2.3.2 Déchets inertes :

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries defabrication de matériaux de construction. Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux [4].



**Figure 7 :** Déchets inertes.

### 2.3.3 Déchets dangereux :

#### a) Déchets industriels spéciaux (DIS) :

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc,

**b) Déchets ménagers spéciaux (DMS) :**

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage.

Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé [5].

**2.3.4 Déchets non dangereux des activités économiques :**

Il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, aux déchets ménagers tels que les déchets liés aux activités de commerce, les déchets de construction et les déchets des services publics (école, administration, etc.). La loi considère d'ailleurs qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme des déchets ménagers [3].

**2.3.5 Les déchets industriels banals (DIB) :**

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.

Les déchets non dangereux et non inertes, dits industriels banals sont de même nature que les ordures ménagères. Ce sont :

- Les bois non traités ou traités avec des produits non dangereux (emballages, coffrages, menuiseries, planchers...),
- Les plastiques en PVC, polystyrène, polypropylène (canalisations, menuiseries, revêtements de sols, emballages...),
- Les métaux ferreux et non ferreux tels que l'aluminium, le cuivre, l'acier, le zinc (toitures, matériels électriques, canalisations, équipements...),
- Les revêtements muraux et de sol textiles,
- Le polystyrène expansé, le polyuréthane,
- Les produits mélangés issus de chantier de réhabilitation...
- Les peintures, vernis, colles, mastics, qui ne comprennent ni solvants organiques, ni substances dangereuses. [5]

### 2.3.6 Les déchets médicaux et pharmaceutiques :

Tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics, des cliniques, des établissements de la recherche scientifique, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires. [6]

## 2.4 Gestion des déchets :

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. [25]



Figure 8 : Photo d'une Gestion des déchets

## 2.5 Principes de gestion des déchets :

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions. La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :

- Réduire.

- Réutiliser.
- Recycler. [25]

## **2.6 Méthodes de gestion des déchets :**

La gestion des déchets consiste en la détermination du type de traitement à appliquer à telle ou telle autre catégorie des déchets. Certes pour assurer une bonne gestion des déchets, il faut mettre des moyens sur le plan financier que matériel, par conséquent, la bonne gestion limitera les dégâts sanitaires. C'est ainsi que nous allons examiner successivement les différents modes de gestion des déchets. Ces méthodes sont actuellement au nombre de quatre.

### **2.6.1 L'enfouissement :**

L'enfouissement est une méthode d'évacuation des déchets organiques qui consiste à creuser une fosse profonde de 0,5 à 1m pour y verser des déchets, asperger de l'essence et la couvrir d'une couche de terre afin de brûler sans fumée les déchets. Ce procédé utilise comme produits désinfectants ou désodorisants le chlore, la chaux, le mazout, et l'essence. Cette méthode reste très appropriée dans des formations sanitaires limitera les dégâts sanitaires.

### **2.6.2 L'incinération :**

C'est un procédé urbain d'élimination finale des déchets qui consiste à brûler au moyen d'un feu les déchets produits par les hôpitaux. Les procédés de l'incinération comprennent le ramassage des déchets et ordures, le triage pour dissocier les déchets combustible et non combustible. Elle peut être considérée comme un procédé par l'excellence de traitement des immondices, c'est une méthode satisfaisante qui présente cependant quelques inconvénients, parmi lesquels on peut citer :

- Elle nécessite une évacuation des cendres après son exécution,
- Elle provoque un danger de pollution de l'environnement par sa fumée,
- Elle nécessite un investissement et un coût d'exploitation élevés pour sa construction

### **2.6.3 La décharge contrôlée :**

La décharge contrôlée est un dépotoir public prévu à l'avance pour l'évacuation des immondices ménagères. Elle a l'avantage d'offrir des éléments pour l'alimentation des jardins ou des plantations d'arbres. Cette méthode n'est pas conseillée pour le traitement des déchets hospitaliers.



**Figure 8 :** Photo d'une décharge contrôlée.

#### **2.6.4 Le compostage :**

Le compostage est un procédé de décomposition des matières organiques usée de manière à le récupérer sous une autre forme permettant une utilisation ultérieure comme engrais.

Il nécessite les préparations suivantes :

Réception des ordures, triage des ordures, préparation des compostes, décomposition, présentation du produit fini



**Figure 10 :** Compostage de déchets organiques

## **2.7 Déchets utilisés comme granulats du béton :**

### **2.7.1 Laitier d'acier :**

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bi calcique, il est utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. La laitier dans ce béton normalement, cendre volailles mais allés ne sont pas beaucoup utilisée , ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé. L'utilisation de ces laitiers est assez peu répandue en raison des problèmes de stabilité dimensionnelle. Des procédés de vieillissement se sont développés afin de maîtriser cette instabilité et des initiatives de valorisation, notamment en génie civil. Aussi, les risques environnementaux associés à l'utilisation des laitiers dans certaines filières sont encore peu connu

### **2.7.2 Cendres volantes :**

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granulats légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées. Elles sont issues de la combustion du charbon pulvérisé et poussé dans la chambre de combustion d'un four par des gaz d'échappement. Elles sont préférables a beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace, du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage. Les cendres volantes sont classées selon leurs teneurs en CaO et du type du charbon brûlé

### **2.7.3 Déchets de verre :**

Le verre est un corps solide, non cristallin, homogène, provenant du refroidissement progressif de certaines substances après fusion. Le verre est l'un des matériaux les plus utiles car il possède de nombreuses qualités. Il est facile à modeler, transparent et peut prendre de nombreuses formes.

Le problème environnemental que posent les déchets non biodégradables tels que les bouteilles non réutilisables (verre) devient une préoccupation majeure au regard des quantités énormes produites dans les grandes villes. L'une des rares voies de recyclage de ces déchets est de les stocker dans les procédés de construction (béton). Ainsi, le verre est un matériau riche en silice et en sodium. Son utilisation dans une matrice cimentaire entraîne deux

réactions à effet contraire : la réaction alcali silice néfaste pour les bétons par les gonflements qu'elle génère.

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année et une voie de recyclage du verre consiste à l'utiliser dans les matériaux de construction. Il est utilisé sous deux formes principales: les granulats (taille > 4mm) et les poudres (taille < 4mm). Les granulats sont utilisés en remplacement des graves dans les bétons et lui procurent une résistance moindre.

Les poudres sont utilisées dans les mortiers en remplacement du sable mais aussi dans l'industrie du ciment comme fines

#### **2.7.4 Déchets de marbre :**

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris pouvant présenter des veines ou des fossiles. Certains types de marbre portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte. Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides de plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangé à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,27. La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le blanc ils existent des variétés, beiges, bleus, roses, gris jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires.

La production de marbre en France est faible et on constate une régression par rapport à des pays comme l'Italie, le Portugal, et la Grande Bretagne. Les produits marbrières Algériennes sont extraits et transformés conformément aux normes européennes : italiennes et françaises en particuliers .les procédés utilisés en Algérie pour le travail du marbre sont ceux utilisés dans le monde :

- Sciage des masses au fil hélicoïdal, au fil diamanté et haveuse pour l'abatage et le tranchage des masses brutes de marbres naturels en carrières.
- Transformation des produits finis au moyen de lames et disques, débitages secondaires et ponçages avec des pierres ponce.

Le marbre Algérien est exploité actuellement par l'entreprise nationale du marbre 'Enamarbre' qui dispose de dix unités de production implantées dans cinq Wilayas [10].

La production de marbre en blocs (2018), par les filiales de l'entreprise ' Enamarbre 'est de 200.000m<sup>2</sup>



**Figure 11 : Déchets de marbres**

### **2.7.5 Déchets de démolition :**

Le béton constitue presque 75%, en poids de tous les matériaux de construction. Il s'ensuit donc que la plus grande partie de rebuts de démolition est constituée de béton. Par ailleurs, les sinistres (principalement les séismes) fournissent chaque année des millions de tonnes de débris de béton.

Aujourd'hui, les producteurs de granulats recyclés ont une politique de sélection des matériaux de démolition. Ainsi, on distingue cinq catégories de matériaux de démolition en fonction de leur nature :

- 1) les bétons armés sans enduit ni plâtre,
- 2) les matériaux composés de briques, de tuiles, de graves, de pierres et de blocs rocheux, etc.
- 3) les matériaux mélangés avec une faible teneur en plâtre, bois, plastique, etc.
- 4) les mauvais matériaux avec une teneur en bois, plâtre, plastique : supérieure à 10%,
- 5) les autres matériaux n'entrant pas dans les catégories précédentes

### **2.7.6 Déchets de production de l'industrie du béton :**

Les granulats de déchets de production ont deux origines :

- 1) Les débris de béton générés tout au long des étapes de la production ; ils résultent du nettoyage des installations de fabrication et du transport du béton frais (chutes de béton); il peut également s'agir de béton provenant de gâchées non utilisées ou non utilisables.
- 2) Les produits défectueux, mal formés, partiellement cassés ou d'aspect non conforme ; à ces produits défectueux s'ajoutent les produits ayant fait l'objet d'essais de résistance à la rupture.

### **2.7.7 Déchets plastiques :**

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon. Les déchets plastiques peuvent incorporés dans des matrices cimentaires. En effet, des études antérieures ont montrées qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons comme liant pour la production d'un matériau composite à haute performance ou sont ajoutés dans le béton (sous forme de grains et fibres ondulées et rectilignes [11]).

Il existe plusieurs types de déchets plastiques :

- Les déchets plastiques industriels
- Les déchets de production
- Les déchets de transformation

### **2.7.8 Ciment durci :**

Dans le cas où un sac de ciment est en contact avec l'eau, la poudre se cristallise. Cette recristallisation du ciment est suivie d'une réaction d'hydrolyse. Ces deux réactions sont rapides et provoquent le durcissement du ciment. Il devient inutilisable comme liant sur le chantier. Le ciment ainsi durci devient automatiquement un déchet. Il peut être concassé et utilisé comme granulats de béton. Ce déchet est produit accidentellement ou par négligence, il est donc important d'éliminer le ciment durci et d'œuvrer pour empêcher sa production pècher sa production.

### **2.7.9 Déchets de briques :**

Les déchets de briques sont issus de l'industrie des produits rouges. Ces produits comptent parmi les plus anciens matériaux de construction, ils sont des produits céramiques

dont les argiles sont la matière première et parfois des additifs. Les briques ont généralement une forme parallélépipède rectangle. Il existe deux types de briques: briques en terre crue et briques en terre cuite

- Briques en terre crue
- Briques en terre cuite

## 2.8 Le recyclage :

Recycler, c'est fabriquer un nouvel objet à partir de vieux objets, mais le nouvel objet obtenu étant différent de l'ancien qui a servi de matière première. Le déchet devient alors une ressource. Selon la directive européenne 2008/98/CE, le recyclage, contrairement à la régénération, est toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou d'autres fins. Cela inclut Chapitre 3 la valorisation des déchets 15 le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage. Article 3, alinéa 17 de la directive 2008/98/CE du parlement européen et du conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives) Le recyclage est la réintroduction directe d'un matériau contenu dans un déchet dans le circuit économique (Gouillard et al., 2003) ou dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve. Il cible principalement les matériaux suivant : le papier-carton, les emballages, le verre et les métaux (Balet, 2008) dans les pays industrialisés et déchets plastiques dans les pays en développement et intervient une fois que le déchet est créé. Il ne permet donc pas de l'éviter, mais, il a le mérite d'économiser des matières premières (Adec, 2006) (L'Agence européenne pour l'environnement, 2003)

## 2.9 Recyclage du verre :

Les déchets en verre provenant des ménages se composent de bouteilles, de pots, de flacons, de bocaux, de vitrages, etc. La quasi-totalité de ce gisement est constituée de déchets d'emballages encore appelés « verres creux ». Les modalités d'élimination des déchets en verre ménagers sont déterminées dans le livre V du code de l'environnement [2].

Le consommateur est le premier maillon de la chaîne du recyclage. A ce titre, il représente un partenaire privilégié dans la recherche de la qualité indispensable pour le

développement durable du recyclage du verre. Le verre est 100% recyclable et à l'infini après broyage et refonte du calcin dans un four

## 2.10 Le verre récupéré :

Le calcin est du verre récupéré à partir de déchets (ménagers et assimilés, etc.) ou directement à partir de chutes de fabrication. Il est d'abord trié et nettoyé pour éliminer toutes les impuretés.

Ensuite, avant d'être introduit avec les matières premières afin de former le lit de fusion, il est broyé très finement



Figure 12 : Le verre récupéré.

## 2.11 La valorisation :

### 2.11.1 Définition de la valorisation :

Valoriser, c'est donner de la valeur à quelque chose. D'après Mayster (1994), valoriser un déchet recoupe toute action qui permet d'en tirer de l'énergie, de trouver un nouvel usage à la matière qui le compose, de tirer une matière première secondaire utile à la fabrication du même bien et de trouver un nouvel usage ou qui permet à un déchet de redevenir utile pour d'autres. D'après la directive européenne 75/442/CEE du conseil du 15 juillet 1975 la caractéristique essentielle de l'opération de valorisation consiste à faire remplir aux déchets une fonction utile. Ils se substituent pour cela à l'usage d'autres matériaux qui auraient dû être utilisés pour remplir cette fonction, afin de préserver les ressources naturelles. La valorisation

se décline en : valorisation de la matière qui permet de réutiliser les éléments constitutifs du déchet en les intégrant dans le circuit économique ; valorisation biologique permettant la production d'engrais et de compost et valorisation énergétique (production de chaleur et d'électricité)

### **2.11.2 La valorisation de la matière :**

On distingue différentes formes de valorisation des matières liées aux conditions économiques, sociales et culturelles. Ces formes sont : le réemploi comme la réutilisation des bouteilles en verre, des emballages, etc. ; le recyclage qui permet d'obtenir de nouveaux produits en intégrant ces matières premières et secondaires dans un nouveau cycle de production (Aloueimine, 2006). La valorisation de la matière englobe donc : le recyclage et la récupération des déchets. Une grande partie du secteur informel est basée sur cette activité avec la récupération de carcasse de véhicules, de plastiques et de métal.

### **2.12 Conclusion :**

La valorisation des déchets est une étape cruciale dans la gestion responsable des déchets, offrant de multiples avantages environnementaux, économiques et sociaux. En conclusion, il est clair que la valorisation des déchets est une stratégie durable et nécessaire pour réduire notre empreinte écologique, préserver les ressources naturelles et promouvoir un mode de vie plus respectueux de l'environnement. Cependant, pour maximiser son efficacité, il est essentiel d'adopter une approche holistique, impliquant la sensibilisation du public, des investissements dans la recherche et le développement de nouvelles technologies, ainsi qu'une collaboration étroite entre les gouvernements, les entreprises et la société civile. En investissant dans la valorisation des déchets, nous investissons dans un avenir plus propre et plus durable pour les générations à venir.

**Chapitre 03 :**  
*Caractéristiques*  
*des matériaux utilisés*

### 3.1 Introduction :

Dans cette section, nous intéressons à la présentation des matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges des BAP étudiés, d'essais réalisés et la méthodologie adoptée lors du travail de recherche expérimentale.

### 3.2 Caractérisations des matériaux :

Les essais sur les matériaux utilisés pour la confection du béton ont été exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de M'Sila. Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Le sable d'origine siliceux provenant DE DJAMAA WILAYA d'OUED SOUF
- ✓ Deux fractions de gravier concassé (3/8,8/16) l'origine calcaire COSSIDER à (ELECHE) BBA.
- ✓ Ciment CPJ 42.5 N et provenant de la cimenterie Lafarge de Hammam Dalaa « M'Sila »
- ✓ L'adjuvant : MEDAFLOW super plastifiant haut réducteur d'eau provenant de la société Granitex – Oued Smar.
- ✓ L'ajout : le filler (farine de marbre et Déchets de verre de fraction 0,08mm)
- ✓ L'eau de gâchage et de conservation : eau potable du laboratoire.

### 3.3 Sable :

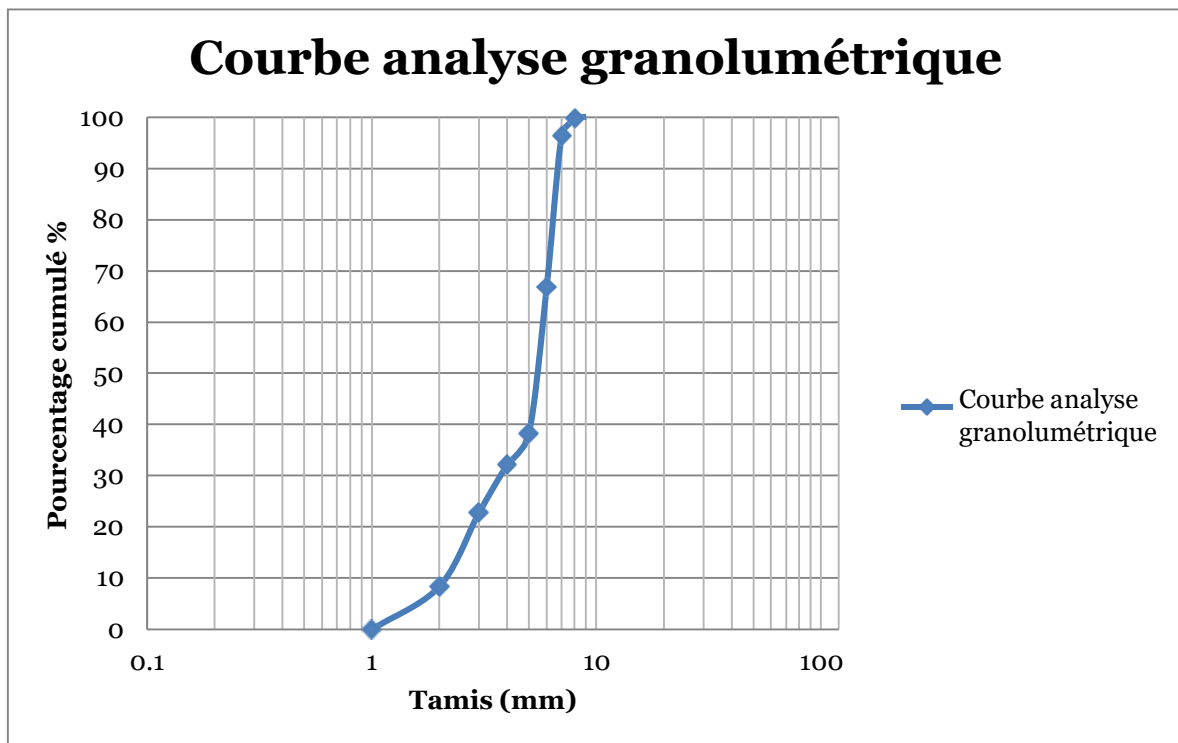
#### 3.3.1 Analyse granulométrique :



**Figure 12 :** Un vibro- électrique. Tamis

**Tableau 1 : Analyse granulométrique du sable de djamaa:**

Tamis (mm)	poids tamis(g)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisat (%)
			(g)	(%)	
5	856	126	126	8,4	91,6
2,5	756	216	342	22,8	77,2
1,25	653	140	482	32,13	67,87
0,63	621	91	573	38,2	61,8
0,315	561	430	1003	66,86	33,14
0,16	519	445	1448	96,53	3,47
0,08	509	48	1496	99,73	0,27
FOND	566	6	1502	100,13	0,13
Mf	4,64				



**Figure 13:** courbe d'analyse granulométrique de sable djamaa

### **3.3.2 Equivalent de sable [NF EN 933-8]:**

#### **3.3.2.1 Equivalent de sable visuel (E.S.V):**

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.

Mesurer également avec le réglet la hauteur  $h_2$  comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

On:  $h_2$   $h_1$

$$E.S.V = (h_2/h_1) \cdot 100 (\%)$$

$h_2$ : la hauteur du sable.

#### **3.3.2.2 Equivalent de sable piston (E.S.P) :**

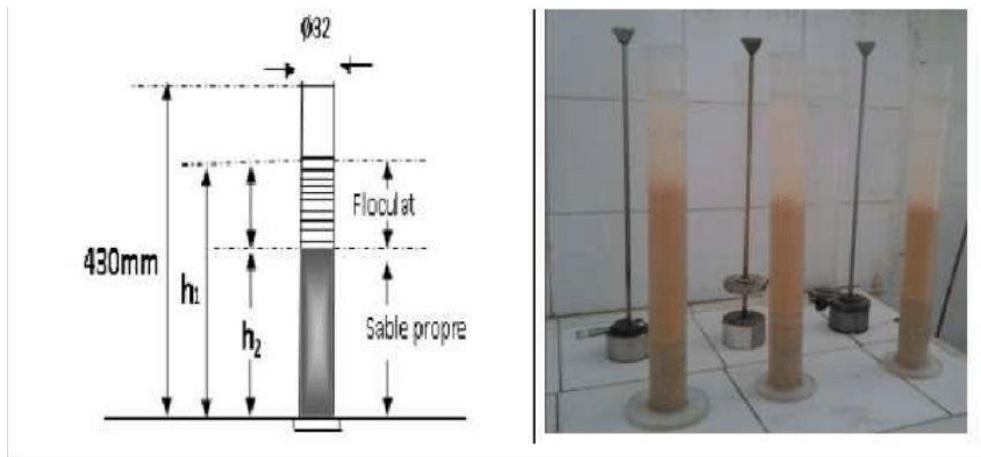
Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, cet instant bloquer le manchon du piston, et sortir celui-ci de l'éprouvette.

Introduire le règle dans l'encoche du piston jusqu'à ce que de zéro vienne buter contre la face intérieur de la tête du piston, soit  $h_2'$  la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$E.S.P = (h_2'/h_1) \cdot 100 (\%)$$

On:  $h_1$ : la hauteur du sable +floculat.

$h_2'$ : la hauteur du sable ( $h_2' < h_1$ ).



**Figure 14:** Principe de l'équivalent de sable.

**Tableau 2:** La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S)

<i>ESV a vue (%)</i>	<i>ES au piston (%)</i>	<i>Qualité du sable</i>
<i><math>ESV &lt; 65</math></i>	<i><math>ES &lt; 60</math></i>	<i>Sable argileux : à ne pas utiliser</i>
<i><math>65 \leq ESV &lt; 75</math></i>	<i><math>60 \leq ES &lt; 70</math></i>	<i>Sable légèrement argileux : admissible pour bétons courants avec risque de retrait important.</i>
<i><math>75 \leq ESV &lt; 85</math></i>	<i><math>70 \leq ES &lt; 80</math></i>	<i>Sable propre : convient bien pour les bétons de haute qualité.</i>
<i><math>ESV \geq 85</math></i>	<i><math>ES \geq 80</math></i>	<i>Sable très propre : absence presque totale de fines argileuses.</i>

### 3.4 La masse volumique absolue :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105°C, notée et exprimée en ( $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{T/m}^3$ )

#### 3.4.1 Mode opératoire :

\_ peser un échantillon sec  $M=900\text{g}$  de granulats

Remplir éprouvette échantillon gradué avec un volume d'eau  $V1=120\text{ml}$

Introduire les granulats dans l'éprouvette graduée en chassant les bulles d'air lire le nouveau volume V2

Calculer la masse volumique absolue  $P_{abs} = M/V_1 - V_2$

\_ Refaire la mesure 3 fois

**Tableau 3:** Masse volumique absolue du sable de djamaa

Essais	Mg	Ve(ml)	V(ml)	P(g/ML)
1	61	120	146	2,56
2	70,3	120	172	
3	90,2	120	206	

**Tableau4 :** Masse volumique apparente du sable de djamaa

Essais	M2	M1	p app	p app moy
1	900	115,7	1521,9	1,55
2	900		1516,5	
3	900		1519,9	

### 3.5 Gravier :

**Tableau 5:** Analyse granulométrique de gravier (3/8) :

Tamis (mm)	poids tamis(g)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
			(g)	(%)	
10	586	10	10	0,67	99,33
8	638	90	100	6,67	93,33
6,3	638	390	490	32,67	67,33
5	656	327	817	54,47	45,53
4	603	474	1291	86,07	13,53
3,15	607	152	1443	96,2	3,8
2,5	596	38	1481	98,73	1,27
FOND	451	19	1500	100	0

**Tableau 6:** Masse volumique absolue de gravier 3/8

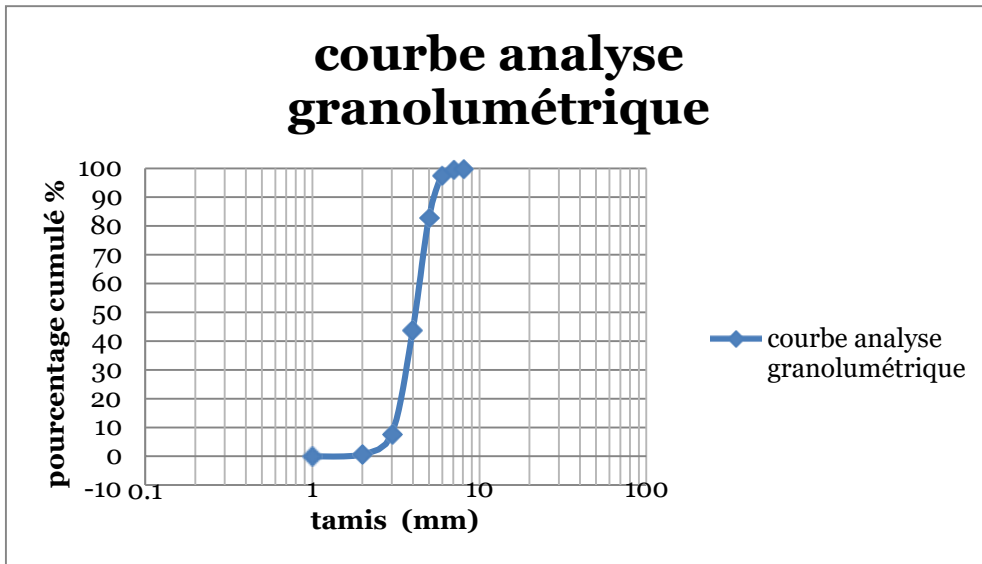
Essais	Mg	Ve(ml)	V(ml)	P(g/ML)
				2,53
1	200	200	280	
2	200	200	275	
3	200	200	280	

**Tableau 7:** Masse volumique apparente du gravier 3/8:

Essais	M2	M1	p app	p app moy
1	1312,2	115	1197,2	1203,06
2	1319		1204	
3	1323		1208	

**Tableau 8:** Analyse granulométrique du gravier (8/16) :

Tamis (mm)	poids tamis(g)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisat (%)
			(g)	(%)	
20	670	12	12	0,8	99,2
16	566	104	116	7,7	92,3
12,5	597	542	658	43,8	56,2
10	583	586	1244	82,9	17,2
8	638	223	1467	97,8	2,2
6,3	638	27	1494	99,6	0,4
Fond	451	6	1500	100	0
M	4,1				



**Figure 14 :** courbe d’analyse granulométrique de gravier (8/16)

**Tableau 9:** Masse volumique absolue du gravier :

Essais	Mg	Ve(ml)	V(ml)	P(g/ML)
1	200	200	275	2,56
2	200	200	275	
3	200	200	280	

**Tableau 10:** Masse volumique apparente du gravier

Essais	M2	M1	p app	p app moy
1	1312,2	115	1197,2	1203,06
2	1319		1204	
3	1323		1208	

### 3.6 VERRE:

Du point de vue économique, le recyclage du verre est une pratique essentielle qui permet de préserver les ressources naturelles et l'énergie utilisées dans sa production. En effet, le verre recyclé peut être réutilisé dans diverses industries telles que l'emballage et la construction, ce qui réduit à la fois les coûts environnementaux et économiques liés à l'utilisation de nouvelles matières premières.

Investir dans la technologie de recyclage du verre et améliorer ses opérations sont des éléments clés de l'approche économique de gestion des déchets. Cela permet d'améliorer l'efficacité des ressources et de minimiser les impacts environnementaux de l'élimination traditionnelle du verre.

**Tableau 11:** Masse volumique absolue du verre :

Désignation	M(g)	V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Moyenne
Essai 1	200	200	280	2.5	2.43 g/cm <sup>3</sup>
Essai 2	200	200	280	2.5	
Essai 3	200	200	280	2.3	

**Tableau12 :** Masse volumique apparente du verre :

désignation	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Moyenne (g/cm <sup>3</sup> )
Essai 1	115	1273.6	1.28	1.29
Essai 2	115	1296	1.31	
Essai 3	115	1288	1.30	

### 3.7 Adjuvant(MEDAFLOW) :

**Tableau 13:** Caractéristique de l'adjuvant« MEDAFLOW 30 ».

Aspect	Couleur	PH à 20°C	Densité	Chlorure	Extrait sec
Liquide	Brun clair	6 – 6.5	1.07 ±0.01	< 0.1 g/l	30%

**Tableau 14 :** Propriétés de « MEDAFLOW 30 » à l'état frais et durci.

« MEDAFLOW 30 » à l'état frais	« MEDAFLOW 30» à l'état durci
Obtention un rapport E/C très faible	Augmenter la résistance mécanique à jeune âge et à long terme.
Amélioré la fluidité et la maniabilité	diminuer la porosité
Eviter la ségrégation et facilité la mise en Ouvre	Diminuer le retrait et le risque de fissuration

### 3.8 Le ciment :

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portland composé de classe 42.5 provient de la cimenterie de Lafarge de M'sila.

#### 3.8.1 Caractéristiques du ciment CEM II/B 42,5

##### 3.8.1.1 Caractéristiques physiques du ciment utilisé EN 196-1, (2002)

**Tableau 15:** Caractéristiques physiques du CEM II/B 42,5.

Les caractéristiques physiques		Unité	Valeur
Masse volumique absolue		g/cm <sup>3</sup>	3,1
Consistance normale		%	26-28
La finesse (Blaine)		cm <sup>3</sup> /g	4000-4200
Le Chatelier	A froid	Mm	00
	A chaud		2
Temps de prise	Début	Min	2 :30
	Fin		3.30
Résistance à la compression	2 jours	Mpa	18
	7 jours		32
	28 jours		Plus de 42.5

✓ **3.8.1.2 Caractéristiques chimiques et minéralogiques du ciment utilisé****Tableau 16** : Les composition chimique du CEMII/B 42.5

Oxyde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
Teneur	20.7	4.75	62.92	3.75	1.90	1.98	0.09

**Tableau17** : les compositions chimiques du (CEM II 42.5) :

<b>Analyse chimiques</b>	<b>Valeures</b>
Perte au feu(%)(NA5042)	10.0 +- 2
Teneur en sulfates(SO <sub>3</sub> )(%)	2.5 +- 0.5
Teneur en oxyde de magnésium(MgO)(%)	1.7 +- 0.5
Teneur en chlorures(NA5042)(%)	0.02 +- 0.05
<b>Temps de prise à 20° (NA230)</b>	<b>Valeures</b>
Début de prise (min)	150 +- 30
Fin de prise (min)	230 +- 50
<b>Composition minéralogique du clinker (Bogue)</b>	<b>Valeures</b>
C3S(%)	60 +- 3
C3A (%)	7.5 +- 1
<b>Résistance a la compression</b>	<b>valeures</b>
7 jours (MPA)	≥ 10.0
28 jours (MPA)	≥ 42.5
<b>Propriétés physiques</b>	<b>valeures</b>
Consistance normale (%)	26.5 +- 2.0
Fines suivante la méthode de laine(cm <sup>2</sup> /g)(NA231)	3700 – 5200
Rentrait à 28j (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤ 3.0

**3.9 Le filler (marbre) :**

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire et constituée principalement de cristaux de calcite.

**Tableaux18** :Caractéristiques physiques du marbre

Propriétés Physique	Fine Marbre
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.83
Densité	2.67
Surface spécifique de Blaine (cm <sup>3</sup> /g)	448

**Tableaux 19** :Caractéristiques chimiques du marbre

<b>Analyses chimique</b>	<b>Fines marbre</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	1.47
<b>CaO</b>	55.3
<b>MgO</b>	0.01
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.14
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.35
<b>Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.12
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.04
<b>SO<sub>3</sub></b>	0.01
<b>Perte au feu</b>	42.65

### **3.10 Conclusion :**

Le chapitre 3 vise à décrire les matériaux utilisés localement, nous présentons les propriétés chimiques, physiques et mécaniques utilisées pour fabriquer le béton (ciment, sable, gravier, fillers), qui ont été testées au laboratoire de génie civil de l'Université de M'sila.

Sur la base des résultats obtenus, après avoir caractérisé les différents composants (sable, gravier, ciment, fillers), nous avons conclu que ces matériaux peuvent être utilisés dans le béton. En général, et le BAP en particulier.

**Chapitre 04 :**  
*Techniques Expérimentales  
des BAP*

## 4.1 INTRODUCTION :

La partie expérimentale est un prolongement de la partie théorique pour équilibrer le programme de travail et définir les différentes techniques expérimentales. Dans cette section, nous montrons principalement la formulation pour le calcul de dosage de BAP, et essais de base à l'état frais ou durci pour caractériser ce type de béton qui nous choisissons.

Ces tests sont effectués dans des laboratoires de l'université de M'Sila.

## 4.2 Calcul des constituants d'un BAP (selon les recommandations de l'AFGC:

$G+S+C+E+F+ SP = 1000$  liters

Avec :

$$EC = 0.5 \Rightarrow E = 420 * 5 = 210 \text{ kg/m}^3$$

La masse volumique de l'eau est  $1000 \text{ kg/m}^3$  ce qui implique que  $E = 210 \text{ l/m}^3$

Si on prend un dosage en F de 10% Con a

$$F = 10\% * C = 420 \text{ kg/m}^3 * 10\% = 42 \text{ kg/m}^3$$

Le filler utilisé est le marbre, et sa densité absolue égale à 2.67 Ce qui nous donne en terme de volume:  $42/2.67 = 15.73 \text{ l/m}^3$

le dosage du super plastifiant est:  $1,7\% C = 1,7\% * 420 \text{ kg/m}^3 = 7,14 \text{ kg/m}^3$

La densité absolue de super plastifiant SP40 est égale à 1.2 Ce qui nous donne en terme de volume :  $7,14/1,07 = 6.67 \text{ l/m}^3$

La densité absolue du ciment est égale à 3.1

$$\text{Le volume du ciment est : } 420/3.1 = 135,48 \text{ l/m}^3$$

On peut calculer les proportions des graviers et du sable :

Le volume de la pâte pour  $1 \text{ m}^3$  de béton est:

$$C+E+F+SP = 135,48 + 210 + 15,73 + 6,67 = 367,88 \text{ litres}$$

Le volume de granulats pour  $1 \text{ m}^3$  de béton est:

$$G+S = 1000 - 367,88 = 632,12 \text{ litres}$$

Avec

$$G/S = 1$$

On a donc:

$$G = S = 316,061 \text{ l/m}^3$$

Pour les deux fractions du gravier on a choisi d'utiliser 50% de G8/16 et 50% G3/8

$$\text{Gravier (3/8): } 50\% = 158,03 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Gravier (8/16): } 50\% = 158,03 \text{ l/m}^3 \text{ et pour le sable :}$$

$$S = 316,06 \text{ l/m}^3$$

En termes de poids on a:

$$\text{Gravier (3/8)} = 158,03 * 2.67 = 421,94 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Gravier (8/16)} = 158,03 * 2.68 = 423,52 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Sable} = 316,03 * 2.627 = 830,28 \text{ kg/m}^3$$

**Tableau 21:** Composition d'une mètre cube de béton autoplaçant.

Constituants	Quantité	Unité
Sable	830,28	Kg/m <sup>3</sup>
Gravier 3/8	421,94	Kg/m <sup>3</sup>
Gravier 8/16	423,52	Kg/m <sup>3</sup>
Ciment	420	Kg/m <sup>3</sup>
Eau	210	Kg/m <sup>3</sup>
Super plastifiant	6,67	Kg/m <sup>3</sup>
Filler (marbre)	42	Kg/m <sup>3</sup>

### 4.3 Procédure de fabrication des éprouvettes:

Des échantillons sont fabriqués, testés dans le laboratoire des matériaux de construction réalisée dans le même laboratoire à Université de M'sila la préparation du béton autoplaçant par rapport à la préparation du béton ordinaire demande plus détermination et de précision. Après avoir possédé pour déterminer le ratio de chaque ingrédient, suivez la procédure ci-dessous :

- vérifiez d'abord la quantité et l'état des moules prismatiques et cubiques nécessaires. Pour les essais, ce dernier doit être lubrifié avec de l'huile pour faciliter le démouillage.
- Rassemblez tout le matériel nécessaire pour effectuer le test. Vérifiez que le matériel n'est pas mouillé, s'il n'a pas été séché au préalable.
- Pour préparer la quantité d'eau requise pour le mélange, ajoutez le super plastifiant à l'eau mélangée.
- Pesez et introduisez des matériaux secs (gravier, sable, ciment, poudre de verre) dans le malaxeur et mixez.

La fabrication des gâchées est effectuée dans un malaxeur à axe vertical de capacité 30L un mode opératoire strict et identique est suivi :

- Brassage à sec du mélange sable + Gravier + ciment + poudre de marbre pendant 30 s.
- Ajout de l'eau + super plastifiant 210s.

- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration pour le béton auto plaçant.

#### 4.4 Équipements utilisés :

Dans le programme expérimental on a utilisé :

- Une balance.
- Un malaxeur.
- Les outils de maçonnerie tels que : La règle, récipient, une truelle, la brouette, moule.....
- Le cône d'Abrams pour mesurer l'affaissement.
- Une machine d'essai « une presse de force », de dimension appropriée à l'éprouvette à tester et répondant aux prescriptions des normes NF P 18-411 et NF P 18-412.



Le malaxeur



La machine de traction



La machine de compression

la malaxeur et éprouvette

**Figure15:** Appareillage de laboratoire

#### 4.5 Essais de caractérisation du béton autoplaçant à l'état frais :

Le béton auto plaçant à l'état frais a fait objet de nombreuses recherches dans le domaine des matériaux de construction ces dernières années, parmi les essais les plus couramment utilisés pour caractériser le béton frais auto plaçant on peut citer :

- La détermination de la consistance au cône d'Abram's.
- la détermination du risque de blocage à aide de la boîte L.
- la détermination de la résistance à la ségrégation par évaluation de la stabilité tamis.

##### 4.5.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams (NF EN 12 350-8):

Essai d'étalement est imposé comme l'essai le plus simple à exécuter, et il est possible de mesurer la cohérence du béton, Cet essai est effectué comme l'essai d'affaissement au cône d'Abrams cette expérience permet également de découvrir si une séparation horizontale se produit cet essai, qui peut être réalisé sur le site, ne nécessite que de petites échantillons en béton, la valeur de 60 à 75 cm est généralement destinée à obtenir BAP.

##### ➤ **Matériel utilisé :**

- Une plaque carré 120 centimètres de côté ;
- Un cône d'Abram's ;
- Une règle de centimètres.

##### ➤ **Mode opératoire :**

-Placer la plaque sur un support stable et horizontal

On mouille la surface de la planche pour éviter que le béton n'y colle, et on essuie l'excès d'eau avec un chiffon ;

Placer le cône d'Abrams au centre de la planche, en coulant le béton de manière continue, jusqu'au sommet du cône ;

Araser si nécessaire avec une truelle et nettoyer le panneau si nécessaire avec un chiffon humide ; On soulève le cône verticalement avec des contacteurs ;

Une fois le béton étalé sur la table, nous mesurons le diamètre final sur des côtés spécifiques ;

Et notez les deux valeurs. Si les deux valeurs diffèrent de plus de 5 cm, le test doit être invalidé et renouvelé ; Le résultat final est l'évaluateur moyen obtenu. Soit :  $\text{pendage débit} = (D1 + D2) / 2$ .



**Figure 16:** Essai d'étalement au cône d'Abrams's

#### **4.5.2 Essai de la boîte en « L » :**

Cet essai est exécuté à l'aide d'une boîte en forme de L. Les tests spécifiques sont autorisés dans un environnement limité et confirment que la création de béton n'est pas entravée par des phénomènes de bloc inacceptables, tels que l'existence d'armatures.

Le principe de cet essai est le suivant.

La partie verticale de la boîte doit être entièrement remplie de béton, où la partie horizontale de la boîte à travers le renfort le béton a cessé de couler, ensuite, l'ouverture est surélevée et le béton est autorisé à s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers l'armature, lorsque le béton ne coule plus, on mesure la hauteur H1 et H2.

### 4.5.3 STABILITE AU TAMIS :

Cet essai vise à vérifier la résistance du BAP à la ségrégation, c'est-à-dire sa capacité à maintenir une distribution homogène des composants sans que les granulats ne se séparent de la pâte de ciment. La méthode standard pour cet essai est la suivante :

Préparation de l'échantillon : Prélever un échantillon représentatif du béton auto plaçant frais.

- **Tamissage** : Verser le béton à travers un tamis standard (généralement de 5 mm ou 8 mm de maille) placé au-dessus d'un récipient.
- **Pesée** : Peser le béton qui passe à travers le tamis et celui qui reste dessus.
- **Calcul de la stabilité** : Calculer le pourcentage de béton passant à travers le tamis. Un faible pourcentage indique une bonne stabilité (faible ségrégation).

Les normes spécifiques et les seuils de tolérance peuvent varier, mais en général, un béton auto plaçant de haute qualité doit avoir un pourcentage de passage bas, généralement inférieur à 15 %.

Peser le fond avec la laitance :

On a:  $P_{\text{laitances}} = P_{\text{fond}} + \text{laitance} - P_{\text{fond}}$  • Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon.

- $d = (P_{\text{laitance}} / P_{\text{échantillon}}) * 100$ .



Figure 17 : Principe de l'essai stabilité de tamis sur BAP

#### 4.5.4 La masse volumique :

La masse volumique (densité) du béton frais est une autre propriété essentielle, influençant la résistance et la durabilité du béton durci. L'essai de masse volumique suit généralement ces étapes :

- **Préparation du matériel** : Utiliser un récipient de volume connu (généralement un cylindre ou un seau) et une balance précise.
- **Remplissage du récipient** : Remplir le récipient avec le béton frais en évitant les poches d'air.

**Nivellement** : Nivelier la surface du béton dans le récipient pour assurer une mesure précise.

- **Pesée** : Peser le récipient rempli de béton.

Calcul de la masse volumique : La masse volumique est calculée en divisant la masse du béton par le volume du récipient. La formule est :

Masse volumique = Masse du béton (kg) / Volume du récipient (m<sup>3</sup>)

La masse volumique typique pour le BAP se situe généralement entre 2200 et 2500 kg/m<sup>3</sup>.



**Figure18:**La masse volumique

#### 4.6 Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l'état durci :

##### 4.6.1 Essai compression (NF EN 206-1) :

La résistance est déterminée à 28 jours par la formule :

$$R = F/S$$

On a:

S: section de l'éprouvette : 100 cm<sup>3</sup> F: force au moment de la rupture.

Section de l'éprouvette : 100 cm<sup>3</sup>. F: force au moment de la rupture.



**Figure 19:** Essai compression : a) machine et éprouvette, b) éprouvette destructeur.

#### 4.6.2 Essais de traction par flexion :

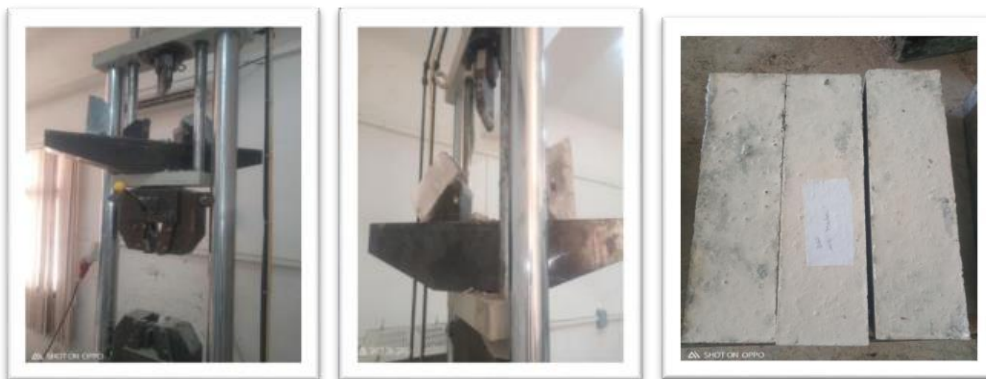
Cet essai très utilisé permet de simuler le type de sollicitation le plus courant dans les éléments des ouvrages. Les éprouvettes utilisées pour ce type d'essai sont propre uniquement aux mortiers, elles sont prismatiques de dimensions 7x7x28 cm. La résistance à la traction par flexion est obtenue par l'application de la formule de résistance des matériaux suivante :

$\sigma = \frac{Mf}{I}$  et la relation du moment de flexion s'écrit

$Mf = F \cdot L/4$ :

$2I$

Où F : Charge de rupture, L : Portée, I : Inertie de flexion et a : Côté du prisme [7].



**Figure 20:**essai de traction et flexion et éprouvette

## 4.7 Confection des éprouvettes :

### 4.7.1 Type et tailles des moules :

Les moules, utilisés pour la confection des éprouvettes sont des moules en acier et plastique de forme (Figure 22)

- Prismatique ( $7*7*28\text{ cm}^3$ )
- Cubique ( $10x\ 10x\ 10\text{ cm}^3$ )

### 4.7.2 Conservation des éprouvettes :

Le démoulage de toutes les éprouvettes a été effectué 48h après le collage puis conservées sous l'eau à une température de  $20\pm 2^\circ\text{C}$ .



**Figure 22 :** Type des éprouvettes utilisés :a) prismatique, b) cubique

## 4.8 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous détaillons tous les essais à l'état frais ou durci sur le béton autoplaçant dont le but était :

Détermination de leurs caractéristiques rhéologiques (essai d'étalement, Essai de la boîte en L, et stabilité au tamis).

Après cela, les tests requis liés au domaine mécanique ont été effectués et ces derniers ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (Compression, Traction, Essai d'Auscultation dynamique).

Et tout cela dans le but d'identifier l'effet de poudre de verre sur le béton autoplaçant que ce soit à l'état frais ou durcis.

**Chapitre 05 :**  
*Résultats et Analyses.*

## 5.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des résultats d'essais rhéologiques, physiques et mécaniques réalisés sur un béton auto plaçant additionné par un type d'ajouts (poudre de verre, poudre de marbre) selon des différents pourcentages (0% ,5%, 10%) ceci, pour voir l'influence de la nature et le pourcentage des additions sur les propriétés du BAP à l'état frais et à l'état durci.

## 5.2 Les formulations des bétons étudiés :

- **BAP10%V.10%M**→ Béton auto plaçant avec l'ajout de 10% poudre de verre et 10% poudre de marbre.
- **BAP5%V.5%M**→ Béton auto plaçant avec l'ajout de 5% poudre de verre et 5% poudre de marbre.
- **BAP10%V.0%M**→Béton auto plaçant avec l'ajout de 10% poudre de verre et 0% poudre de marbre.
- **BAP0%V .10%M**→Béton auto plaçant avec l'ajout de 0% poudre de verre et 10% poudre de marbre.

## 5.3 Présentation des résultats :

Dans cette partie, nous allons discuter les résultats obtenus d'après les essais exécutés afin de caractériser les BAP confectionnés, en deux états essentiels frais et durci à partir des mélanges obtenus suivant les tests recommandés et déclarés par l'AFGC [1]

### 5.3.1 Résultats des essais à l'état frais :

Premièrement on a présenté les résultats à l'état frais, qui on a obtenir juste après le gâchage pour caractérisée ce type de béton. Qui permet d'étudié les propriétés du BAP à l'état frais par :

\* Essai de cône d'Abrams (essai d'étalement pour les milieux non confiné) (NF EN 12 350-81.

\*Essai boîte en L. (contrôlée l'écoulement dans les milieux confiné) [NF EN 12 350- 101.

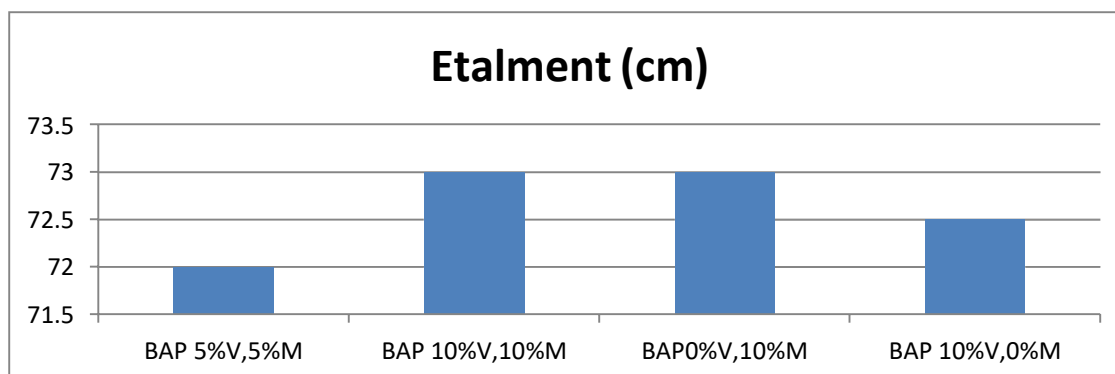
\*Essai de stabilité au tamis (pour étudier la ségrégation) [NF EN 12 350-111.

**Tableaux 21** : Résultats des essais à l'état frais

	Étalement (cm)	Stabilité au tamis (%)	Boite en L (h2/h1) (%)
BAP 5% V,5%M	72	8,12	8,1
BAP 10% V,10%M	73	4,97	7,75
BAP0% V,10%M	73	5,98	8,5
BAP 10% V,0%M	72,5	4,98	8,2

**a) Essai d'étalement au cône d'Abrams :**

L'objectif de cet essai est la vérification de la capacité du béton à s'auto écouler de manière homogène.

**Figure 23** : L'étalement en fonction du type de béton.

**Commentaire :**

La valeur d'étalement est généralement définie entre 70 à 75cm, où l'on note que tous les types de béton (BAP) oscille entre ces deux valeurs.

Les résultats obtenus et présentés sur la (figure23) On note d'après les résultats obtenus que la valeur d'étalement de BAP 10% V,10%M supérieure que la valeur d'étalement d'autres mélanges, cela est dû à la quantité de fillers ajoutés, qui est ici doublée (verre + marbre) et qu'à chaque fois le pourcentage augmente l'étalement des BAP augmente On peut expliquer cela que la poudre de verre et le marbre, avec leur surface lisse et leur faible absorption d'eau, augmentent la fluidité du béton.

### b) Essai de la boîte en L :

L'objectif de cet essai est de déterminer la capacité du béton à s'écouler dans une zone confinée, sans qu'il soit contrarié par des phénomènes de blocage inacceptable.

Les résultats obtenus de cet essai (pour les différents mélanges des bétons formulés) sont représentés sur la :

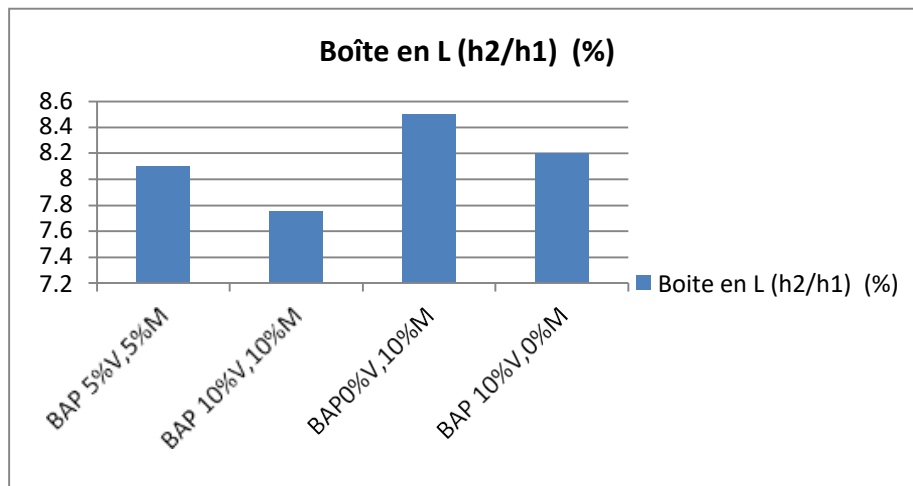


Figure 24 : boîte en L en fonction du type de béton.

### Commentaire :

L'essai est exploité au travers du taux de remplissage (rapport des hauteurs de béton à la fin et au début de la boîte) qui doit en principes être supérieur à 8 ou l'on note que tous les BAP vérifiés ce principe. Donc, ni le verre ni le marbre n'affectent le taux de remplissage.

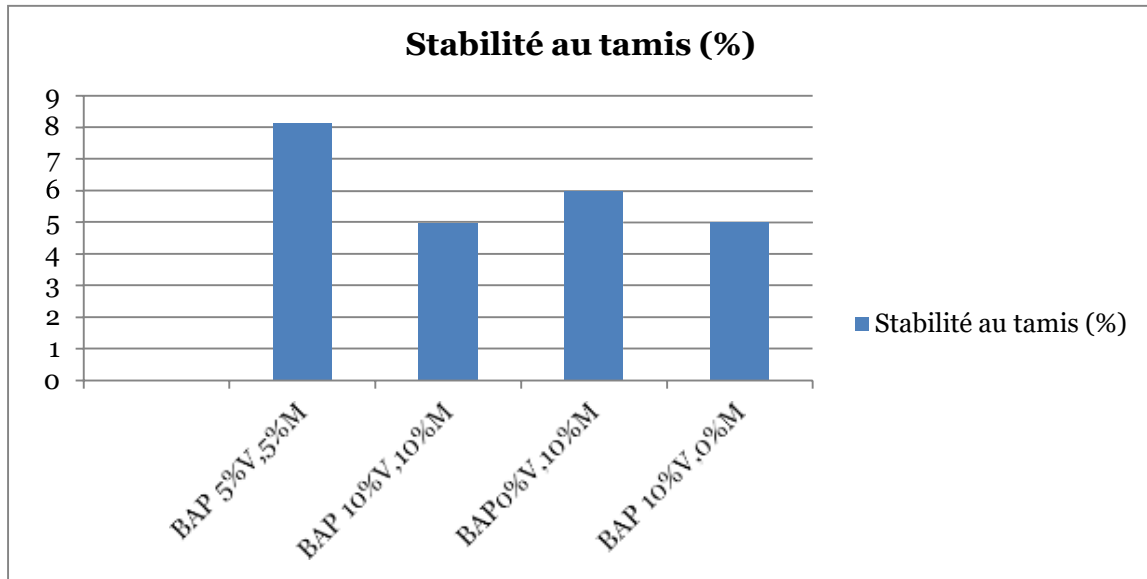
### c) Essai de stabilité au tamis :

Cet essai caractérise la capacité d'un BAP à rester homogène après sa mise en place jusqu'au début de prise.

L'essai est celui dit " de stabilité au tamis " qui consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance d'un échantillon de béton passant à travers un tamis de 5 mm

Les critères d'acceptabilité d'une formulation de BAP sont divisés en 3 classes.

- $0 < p \text{ laitance} < 15\%$  stabilité satisfaisante.
- $15 < p \text{ laitance} < 30\%$  stabilité critique.
- Laitance  $> 30$  stabilité très mauvaise.



**Figure 25** : Stabilité au tamis en fonction du type de béton.

**Commentaire :**

D'après les résultats obtenus on remarque que tous les bétons autoplaçant sont caractérisés par des stabilités satisfaisantes. Donc, ni le verre ni le marbre n'affectent les stabilités des bétons autoplaçant.

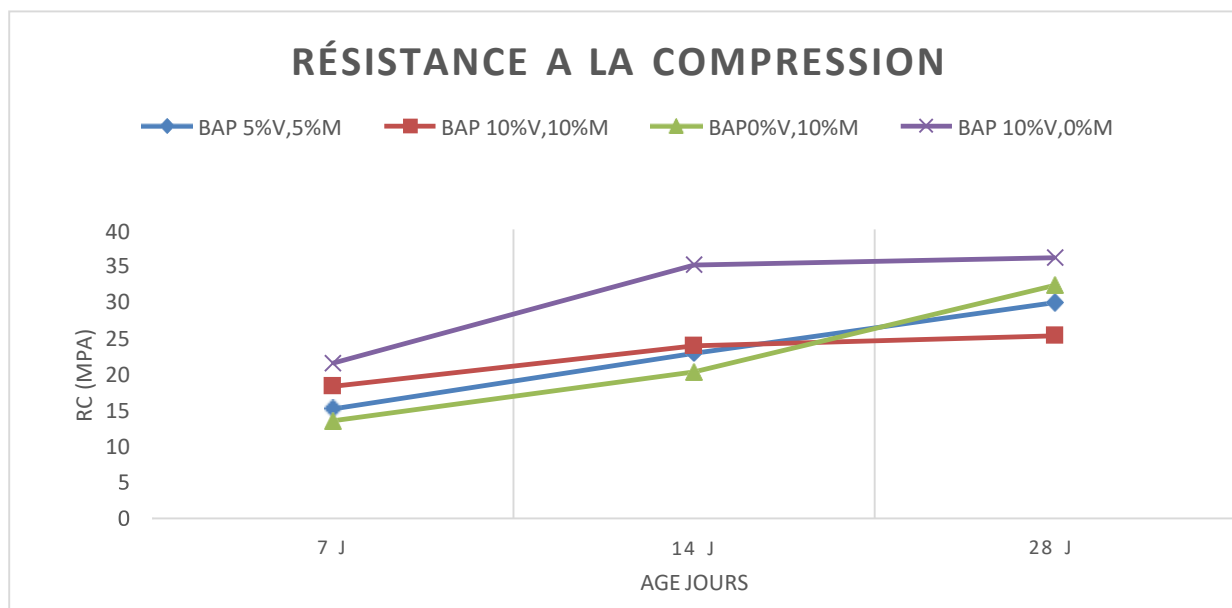
### **3.1 LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES BAP A L'ETAT DURCIS :**

#### **3.1.1 Résistance à la compression :**

Dans cette partie, on a étudié l'influence de différentes natures de fillers sur la résistance à la compression des BAP, pour cela, trois dosages différents ont été utilisés (0% et 5% et 10% par rapport au poids du ciment) et ceci pour des durées de durcissement de 7 et 14 et 28 jours.

**Tableaux 22 : Résistance à la compression**

<b>Résistance à la compression (éprouvette cubique 10*10*10)</b>			
Type de Béton	Age (jours)		
	7	14	28
BAP 5%V,5%M	15,15	22,97	29,94
BAP 10%V,10%M	18,33	23,9	25,32
BAP0%V,10%M	13,55	20,28	32,39
BAP 10%V,0%M	21,56	35,14	36,12



**Figure 26 :** Evolution de la Résistance à la compression en fonction du type du béton à 7 ,14 et 28 jours

## Commentaire :

A travers les résultats obtenus, il apparaît clairement, nous remarquons que :

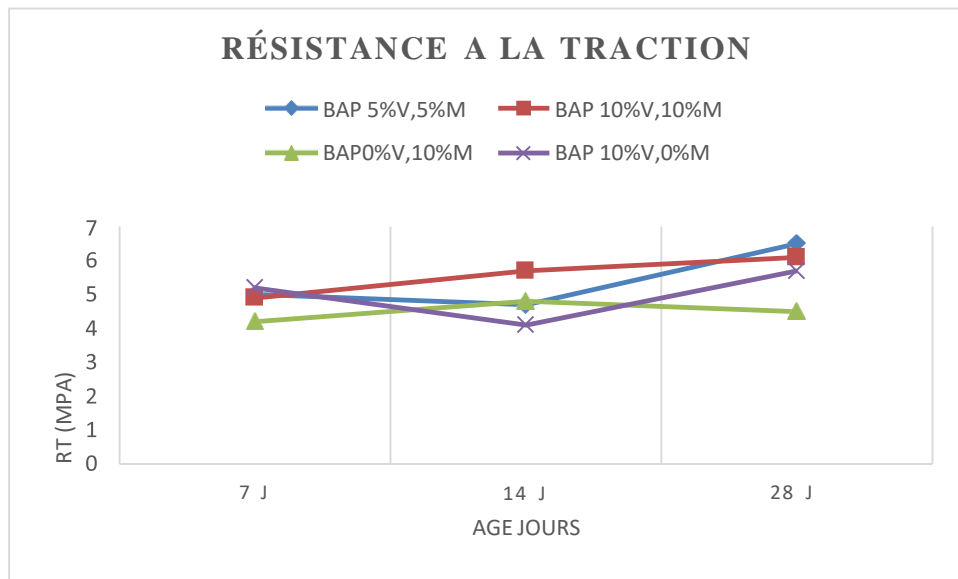
- La résistance à la compression augmente avec l'âge du béton.
- La poudre de verre influe favorablement sur les propriétés du béton. Pour une teneur de 10% (de la masse totale du ciment), on remarque une amélioration très importante de la résistance à la compression à l'âge 28 jours.
- Les poudres de verre peuvent être éliminées à l'intérieur du BAP et améliore ses propriétés à l'état frais ou durcis surtout en termes de résistance.

### 3.1.2 Résistance à la traction :

Dans cette partie, on a étudié l'influence de différente nature de fillers sur la résistance à la traction des BAP, pour cela, trois dosages différents ont été utilisés (0, 5 et 10% par rapport au poids du ciment) et ceci pour des durées de cure de 7, 14 et 28 jours.

**Tableaux 23** : Résistance à la traction par flexion

Résistance à la traction par flexion (éprouvette prismatique 7*7*28)			
Type de Béton	Age (jours)		
	7	14	28
BAP 5% V,5% M	5	4,73	6,5
BAP 10% V,10% M	4,93	5,73	6,13
BAP 0% V,10% M	4,2	4,87	4,5
BAP 10% V,0% M	5,2	4,13	5,7



**Figure 27 :** Evolution de la Résistance à la traction par flexion en fonction du type du béton à 7,14 et 28 jours

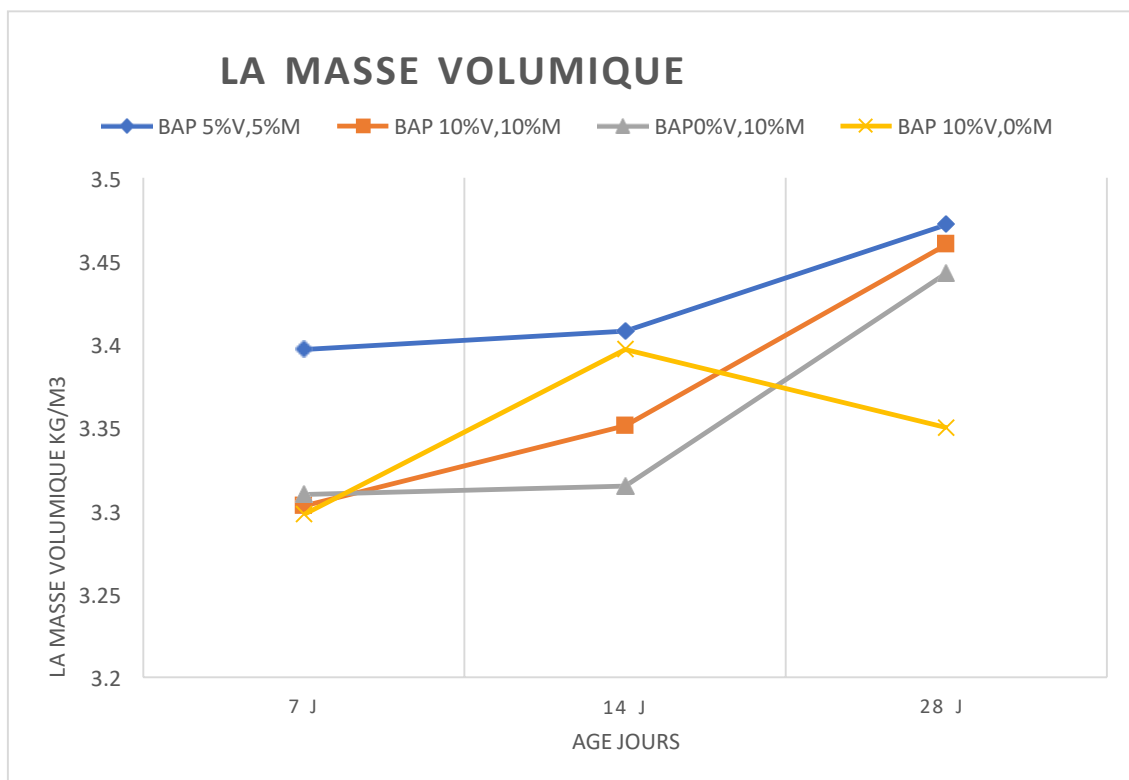
**Commentaire :**

A partir des résultats obtenus, il apparaît clairement, nous remarquons que :

- La résistance à la traction par flexion, augmente avec l'âge des jours.
- Les valeurs de la résistance à la traction ont été plus proches pour tous les types de béton étudiés, mais BAP 5%V,5%M donne la meilleure résistance à l'âge de 28j.
- Les résultats obtenus sont en accord avec les résultats de la résistance à la compression simple.

**Tableau 25 : Résultats des essais de la masse volumique**

Essais La masse volumique				
Type de Béton	BAP5%V,5%M	BAP10%V,10%M	BAP0%V,10%M	BAP10%V,0%M
7	2,397	2,303	2,31	2,298
14	2,408	2,351	2,315	2,397
28	2,472	2,46	2,443	2,35



**Figure 26 : les valeurs de la masse volumique des différents bétons en fonction de l'âge du jour (7,14 et 28)**

**Commentaire :**

A partir des résultats obtenus les valeurs de la masse volumique des différents bétons en fonction de l'âge du jour, nous remarquons que :

- La masse volumique augmente avec l'âge du béton à cause de la fin de toutes les réactions chimiques du béton étudié.
- Le BAP 10%V,10%M a les plus hautes valeurs par rapport aux autres types de béton. Parce que le poids de la poudre de verre est un peu plus lourd que le ciment et le marbre et aussi la quantité de fillers ajoutés, qui est ici doublée (verre + marbre)

**Conclusion:**

Ce chapitre présente les résultats de l'étude, leur analyse et interprétation. L'ajout de poudre de verre a montré une amélioration des propriétés rhéologiques avec l'augmentation du dosage, en particulier pour la poudre de verre BAP. Dans l'état durci, une augmentation du dosage des ajouts a également amélioré les performances mécaniques, notamment avec une combinaison optimale de 10% d'ajout. Cela a conduit à une meilleure résistance. Les fillers la poudre de verre et de marbre ont donc un impact significatif sur le comportement des BAP étudiés.

# *Conclusion Générale*

### **Conclusion Générale:**

En conclusion, les bétons autobloquants (BAP) représentent une avancée significative dans le domaine de la construction en béton, offrant des avantages économiques, techniques et environnementaux. Leur mise en place sans vibration permet de réduire les coûts, de construire des éléments complexes et de constituer une alternative aux bétons traditionnels. Cependant, leur formulation et le contrôle des propriétés nécessitent une attention particulière.

L'étude de l'influence du taux de substitution et de la nature des ajouts sur les propriétés mécaniques et rhéologiques des BAP a montré que l'utilisation de poudre de verre permet d'obtenir les meilleurs résultats, avec une résistance à la compression de 40 MPa à 28 jours.

La méthode de formulation LCPC s'est révélée efficace pour formuler des BAP avec des ajouts, offrant les meilleures caractéristiques rhéologiques et mécaniques. L'incorporation d'ajouts dans le béton autoplaçant n'a pas altéré ses propriétés, et la poudre de verre a donné les meilleurs résultats en termes d'étalement, de boîte en L et de résistance à la compression.

En conclusion, notre étude pratique a permis de mettre au point des formulations de BAP efficaces, en étudiant l'impact des ajouts sur les propriétés du béton.

### Références bibliographiques

[1] Chatra Yassine. effet des fillers de calcaire sur le comportement d'un béton autoplaçant (BAP) à base des matériaux locaux, mémoire master, université Mohamed Boudiaf M'sila, juin 2016.

[2] AFGC, «bétons autoplaçants-recommandations provisoires, documents scientifiques et technique, page 63, 2000.

[8] NF EN 12350 – 8., Novembre 2010. Partie 8 : Béton autoplaçant – essai d'étalement au cône d'Abrams.

[9] NF EN 12350 – 11., Novembre 2010. Partie 11 : Béton autoplaçant – essai de stabilité au tamis.

[10] NF EN 12350 – 10, Novembre 2010. Partie 10 : Béton autoplaçant – essai à la boîte en L.

[11] NF EN 206 – 9., Juin 2010. Béton: partie 9 : Règles complémentaires pour le béton autoplaçant.

[12] Sedran T., 1999. Rhéologie et Rhéométrie des bétons : application aux bétons autonivelants, Thèse de Doctorat de l'ENPC. 220p.

[13] Roussel N., 2007. The LCPC Box cheap and simple technique for yield stress measurement of SSC, Materials and structures. Vol. 40 (9), 889-896.

[14] NF EN 12390-3., Avril 2012. Essai pour béton durci: Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes.

[17] BAALBAKIM, "Influence des interactions du couple ciment/adjuvant dispersant sur les propriétés des bétons : Importance du mode d'interaction des adjuvants", Thèse de Doctorat.

Université de Sherbrooke, Québec. Septembre 1998.

[28] TURCRY .PH, LOUKILI. A, "Différentes approches pour la formulation des BAP", Revue

Française de Génie Civil, Vol 7, N°4, 2003.

## Références bibliographiques

---

### Chapitre02

Ademe (1996). "La collecte et le traitement des déchets." Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie

Aloueimine S O., (2006), méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide la décision. Thèse de Doctorat de l'Université de Limoges, 195p

Directive européenne 2008/98/CE, article 3, alinéa 13) Directive

Cadre (75/442/CEE) du 15 juillet 1975 (Art. L.541-1)

Gouilliard, S. et Legendre, A., (2003), Déchets ménagers, Ecologie, environnement industriel et développement soutenable, Economica, Paris, Guérande

. Gouilliard, S. et Legendre, A., (2003), Déchets ménagers, Ecologie, environnement industriel et développement soutenable, Economica, Paris, Guérande. Composts, amendements humique et organiques, 43-71.

[1] KHEMISSI R., « Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran » thèse de Magister Université d'Oran, 2014.

[2] Mehdi C ., «Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le secteur du bâtiment» thèse de fin de formation 2007.

[3] STAMBOULI M ., « Valorisation de débris de verre dans les infrastructures routières :

Application au verre industriel, verre ménager et verre mixte », Mémoire de master recherche , 2016 .

[4] CHELABI H , TALEB Z ., « Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre ». Mémoire de master , université de bouira2017

[5] MAEL A , XAVIER GH , CHRISTIAN M , DORIS N ., « Lexique à l'usage des acteurs de la gestion des déchets , Collection « Référence » du Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable (SEEIDD) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) ,Mai 2012 .

## Références bibliographiques

---

- [6] EL HAFIANE S, Gestion des déchets solides au niveau de la Commune Urbaine d'Agadir et leur impact sur le milieu naturel, mémoire de fin d'étude, Marrakech , mars 2012
- [10] La Collecte, Le Tri et Le Recyclage du verre Des Déchets ménagers et Assimiles. Le dossier  
Thématique réaliser par le Cercle National du Raclage de Lille ; France (2008)
- [10] NIGRI G ., « Nouvelle élaboration d'un liant hydraulique », thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2018.
- [11] BELKBIR H ., « Elaboration d'un béton autoplaçant léger à base des déchets de plastique », mémoire de DEUA, Université de Boumerdes, 2011.

### Chapitre05 :

- [1] AFGC, bétons autoplaçants-recommandations provisoires, documents scientifiques et technique, page 63, 2000  
Essai de cône d'Abrams (essai d'étalement pour les milieux non confiné) (NF EN 12 350-81.  
Essai boîte en L. (contrôlée l'écoulement dans les milieux confiné) [NF EN 12 350- 101.  
Essai de stabilité au tamis (pour étudier la ségrégation) [NF EN 12 350-111.
- [2] ROUINA, Mouad Abd El Djalil. Propriétés rhéologiques des bétons autoplaçants contenant des ajouts minéraux. 2020.
- [3] DJEBRI, Noura, RAHMOUNI, Zine El Abidine, DJIAB, Nor Elhouda, et al. The Effect of the Use of Residues (Metallic Shavings) in the Formulation of Self-Compacting Concrete in Fresh and Hardened State. In : Annales de Chimie. Science des Matériaux. International Information and Engineering Technology Association (IIETA), 2022. p. 301.
- [4] DJEBRI, Nora, RAHMOUNI, Zine El Abidine, et BELAGRAA, Larbi. Experimental Investigation on the Effect of Marble powder on the performance of Self-Compacting Concrete (SCC). Mining Science, 2017, vol. 24, p. 183-194.